

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta stavební**

**Katedra geotechniky a podzemního stavitelství**

**Posouzení stability příjezdové komunikace na horský hotel Soláň**

**The Stability Assessment of the Soláň Hotel Access Road**

Student:

Bc. Filip Holečko

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Filip Holečko**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika  
Téma: **Posouzení stability příjezdové komunikace na horský hotel Soláň**  
**The Stability Assessment of the Soláň Hotel Access Road**

Zásady pro vypracování:

1. Inženýrsko-geologická a hydrogeologická charakteristika lokality.
2. Zhodnocení stávajícího stavu.
3. Analýza příčin nestability a predikce dalšího vývoje.
4. Vypracování návrhu stabilizačních opatření.
5. Závěrečná analýza výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Abramson, L. W. *Slope stabilization and stabilization methods*. John Wiley and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4
2. Atkinson, J. *The Mechanics of Soils and Foundations*. New York: Taylor & Francis, 2007. ISBN 978-0-415-36256-6.
3. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
4. Staněk, J., Kořínek, R. *Mechanika zemin - Stabilita svahů*. ES VŠB, 1991. ISBN 80-7078-103-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Ve Václavovicích dne .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Václavovicích dne .....

.....

podpis studenta

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá posouzením stability svahu v okolí příjezdové komunikace na horský hotel Soláň. V diplomové práci je uvedena základní problematika sesuvů svahů včetně jejich dělení a způsobu sanací. Dále je zde popsána daná lokalita s vlastním průzkumem a v geotechnickém softwaru GEO5 je vypočten stupeň stability svahu současného stavu. Na závěr je navrženo vhodné sanační opatření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Stabilita svahu, metoda mezní rovnováhy, sesuv, GEO5, Soláň.

## **ANNOTATION**

The thesis deals with the assessment of slope stability near the access road to the mountain hotel Soláň. The thesis presents the basic problems of landslides, including their classification and remediation methods. Thus there is a description of the given location with its detailed exploration. The slope stability degree at the current state is calculated in the Geotechnical software GEO5. Finally the appropriate remedial measures are proposed.

## **KEYWORDS**

Slope stability, limit equilibrium method, landslide, GEO5, Soláň.

# Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitého značení .....	8
1 Úvod .....	10
2 Sesuv .....	11
2.1 Faktory způsobující svahové pohyby .....	11
2.2 Dělení svahových pohybů .....	12
2.2.1 Ploužení .....	12
2.2.2 Sesouvání .....	14
2.2.3 Stékání .....	14
2.2.4 Řícení .....	15
2.3 Sanace sesuvů .....	16
2.3.1 Odvodnění sesuvů .....	16
2.3.2 Ochrana svahu před erozí a zvětráváním .....	21
2.3.3 Úprava tvaru svahu .....	22
2.3.4 Pilotové a podzemní stěny .....	23
2.3.5 Využití svorníků a zemních kotev .....	23
2.3.6 Opěrné konstrukce .....	24
2.4 Sesuvy v okolí Soláně .....	26
3 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry zájmové oblasti .....	29
3.1 Geomorfologické poměry .....	29
3.2 Inženýrskogeologický průzkum .....	30
3.3 Geologické poměry lokality .....	32
3.3.1 Geologický vývoj račanské jednotky .....	33
3.4 Hydrogeologický průzkum .....	34
3.5 Hydrologie oblasti .....	35
3.5.1 Hydrologie zájmového území .....	35
4 Analýza stávajícího stavu .....	37
4.1 Rekognoskace terénu .....	37
4.2 Měření totální stanicí .....	40
4.3 Materiálové charakteristiky .....	42

4.4	Výpočet stupně stability svahu .....	45
4.4.1	Stupeň stability svahu .....	45
4.4.2	GEO5 - stabilita svahu .....	45
4.4.3	Výpočetní model .....	46
5	Návrh sanačního opatření .....	48
6	Závěr .....	56
	Poděkování .....	58
	Seznam použité literatury a informačních zdrojů .....	59
	Seznam obrázků .....	63
	Seznam tabulek .....	65
	Příloha č. 1 .....	66

## Seznam použitého značení

A - aktivní síly

CI - jíl se střední plasticitou

CS - jíl písčitý

ČR - Česká republika

$D_{15,50}$  - průměr zrna materiálu výplně žebra při 15% a 50% propadu odečtený z křivky zrnitosti [mm]

F - stupeň stability svahu

$F_{req}$  - požadovaný stupeň stability svahu

H - výška ustálené hladiny [m]

HOV - horizontální odvodňovací vrty

HPV - hladina podzemní vody

IG - inženýrskogeologický průzkum

LSŽ - levé svodné žebro

L - dosah deprese [m]

P - pasivní síly

PSŽ - pravé svodné žebro

Q - přítok vody z jedné strany díla [ $m^3/s$ ]

ZŽ - záchytné žebro

b - délka záchytného žebra [m]

c - soudržnost [kPa]

$d_{15,50,85}$  - průměr zrna okolního materiálu při 15%, 50% a 85% propadu odečtený z křivky zrnitosti [mm]

h - dynamická výška hladiny [m]

ha - hektar

s - snížení hladiny [m]



$\gamma$  - objemová tíha zeminy [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_{\text{sat}}$  - objemová tíha saturované zeminy [kN/m<sup>3</sup>]

$\varphi$  - úhel vnitrního tření zeminy [°]

# 1 Úvod

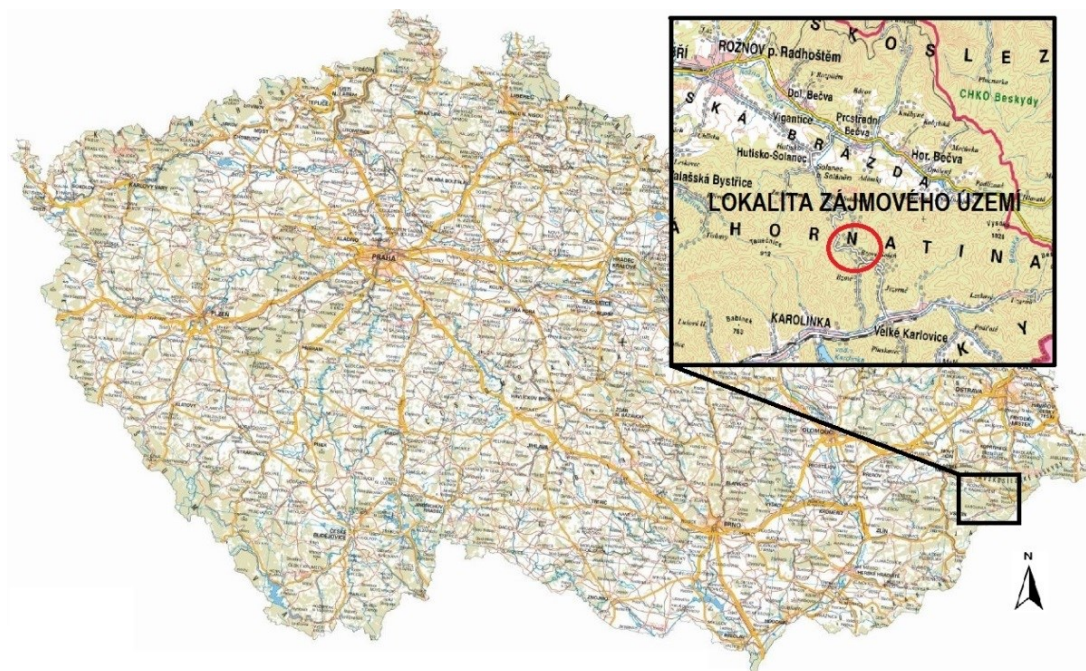
Problematika sesuvů svahů je stále rozšířenější téma mezi širokou veřejností. Na území České republiky patří pravděpodobně mezi nejvíce medializovanou svahovou nestabilitu sesuv svahu na dálnici D8 u Dobkoviček na Litoměřicku.

Diplomová práce se zabývá posouzením stability svahu kolem příjezdové komunikace na horský hotel Soláň. Zájmové území leží ve Zlínském kraji v katastru města Karolinka přibližně 14 km jihovýchodně od města Rožnov pod Radhoštěm (obr. 1). Řešený sesuv je vymezen příjezdovou komunikací na horský hotel Soláň a silnicí č. II/481.

Cílem práce je zaměření příčného profilu svahu, posouzení stupně stability v softwaru GEO5 - stabilita svahu a následný návrh vhodného sanačního opatření k zajištění stability zasaženého území.

První část práce se věnuje základním informacím o svahových pohybech, jejich dělení podle rychlosti a mechanismu pohybu. Dále zmiňují faktory, které tyto pohyby způsobují, a základní sanační opatření.

Druhá, rozsáhlejší část práce se zaměřuje na konkrétní sesuv v zájmové oblasti. Jsou zde zmapovány sesuvy v okolí řešené lokality, popsány geologické, hydrogeologické a geomorfologické poměry území. Dále je uvedena analýza současného stavu sesuvu s výsledky vlastních terénních měření a výpočtem stupně stability svahu. Na závěr je navrženo sanační opatření v podobě povrchového a hloubkového odvodnění.



Obr. 1: Lokalita zájmového území [zdroj: 2, úprava autor]

## 2 Sesuv

Jako sesuv, nebo také svahový pohyb, se označuje přemísťování horninových hmot po svazích a to na základě působení zemské tíže. [42]

Otázka stability svahů se prolíná nejrůznějšími obory lidské činnosti, zejména pak při projektování a realizaci technických prací. Svahy dělíme na přírodní a umělé, vzniklé různými zásahy do přírodních poměrů. Porušením stability svahu vznikají svahové pohyby podmíněné účinkem zemské tíže, při nichž těžiště pohybujících se hmot vykonává dráhu ze svahu dolů. Náhlé pohyby hornin, při kterých jsou sesouvající se hmoty odděleny od pevného podloží zřetelnou smykovou plochou, se označují jako sesuvy. [49]

### 2.1 Faktory způsobující svahové pohyby

Tendence svahů k sesouvání je dána faktory, které můžeme rozdělit dle mnoha kritérií. Z pohledu doby trvání je dělíme na dlouhodobé (permanentní) a krátkodobé (epizodické). Z hlediska původu rozeznáváme faktory přirozené, mezi něž patří zejména geologické poměry, litologická a strukturní anizotropie, geomorfologické poměry, hydrogeologické poměry, a faktory umělé (antropogenní) – např. technická seizmicita, budování nevhodných zářezů nebo násypů, odlesňování apod. [49]

Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující svahové pohyby můžeme zařadit klimatické a hydrogeologické poměry. Klimatické poměry přispívají ke vzniku svahových pohybů především režimem dešťových srážek, při kterých voda, ať už dešťová, nebo vzniklá při tání sněhu a vnikající do puklin, vyvolává hydrostatický tlak, přičemž v zeminách dochází k růstu napětí vody v pórech, což způsobuje pokles pevnosti ve smyku. V zimních měsících nesmíme podcenit ani činnost mrazu, kvůli němuž dochází ke zvětšování objemu vody v trhlinách, které se kvůli tomu rozšiřují. Rovněž vznikají trhliny nové. S klimatickými poměry úzce souvisejí hydrogeologické poměry, tedy režim podzemních vod. Samotná přítomnost vody v daném horninovém prostředí závisí na základních vlastnostech materiálu a na jeho schopnostech vodu zadržovat. [15, 23, 49]

Dalším neméně významným faktorem je zvětšení výšky svahu a změna sklonu svahu. Změna sklonu svahu může být způsobena přirozenou nebo umělou cestou. V prvním případě se jedná o podemetí paty svahu erozní činností vodního toku, u druhého o umělé podkopávání svahu. Ve výjimečných případech může být způsobena také tektonickou činností. Změna sklonu svahu způsobuje změnu napětí v horninách, rovnováha bývá porušena vzrůstem napětí ve smyku. [49]

Často podceňována bývá také změna vegetačního pokryvu. Porost svahu udržuje jeho stabilitu mechanickým působením a přispívá k jeho vysoušení. Stabilita svahu může být porušena pokácením stromů, což vede ke změně vodního režimu. [49]

Opomenout nesmíme ani otřesy a vibrace ve svazích způsobené zemětřesením, ale také výbuchy náloží trhaviny či otřesy strojů. S rostoucí frekvencí roste i riziko porušení horniny. Tyto kmity způsobují v horninách změny napětí, které mohou vést k porušení rovnováhy svahu. [49]

Za další faktory, které způsobují svahové pohyby, můžeme označit zvětrávání, ať už mechanické či chemické, při němž dochází k postupnému porušování soudržnosti hornin, což může vést až ke vzniku svahových pohybů. Dále také zatížení svahu násypy, haldami a skládkami, které vedou k vzrůstání smykového napětí. V tomto případě může nastat zvýšení pórového tlaku a plasticity, což má za následek pokles hodnoty smykového tření, nebo i vznik nových smykových ploch. K samotným sesuvům poté dochází v případě překročení meze pevnosti. [15, 49]

## **2.2 Dělení svahových pohybů**

Svahové pohyby můžeme rozdělit dle mnoha kritérií. Jedním z dělení je dle věku na recentní (současné) a fosilní (staré). Podle stupně aktivity rozeznáváme svahové pohyby aktivní (živé), dočasně uklidněné a stabilizované (zastavené). Dále je můžeme rozdělit na základě půdorysného tvaru na proudové, frontální, plošné a nepravidelné.

Na území České republiky je nejrozšířenější rozdělení podle A. Němčoka, J. Paška a J. Rybáře, kteří provedli rozdělení podle dvou kritérií - rychlosti a mechanismu pohybu. Dle těchto kritérií byly svahové pohyby rozděleny do čtyř skupin - ploužení, sesouvání, stékání a řícení. Jednotlivé skupiny si popíšeme v následujících kapitolách. [23, 49]

### **2.2.1 Ploužení**

Plouzivý pohyb je dlouhodobý, zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot. Tyto hmoty se pohybují v milimetrech až centimetrech za rok. Rozdělujeme je na dva hlavní typy: hlubinné ploužení a ploužení přípovrchové. [49]

U plouživého pohybu rozeznáváme tyto typy pohybů:

- Pomalé povrchové pohyby svahových hlín a sutí, jinak také slézání sutí, které jsou způsobeny povětrnostními vlivy. Během zimního období dochází k nakypření drobných úlomků a posléze jejich zdvižení mrazem. V průběhu jarního tání se tyto úlomky nevracejí do původní polohy, ale posouvají se vlivem působení zemské tíže po svahu. [42, 49]
- Soliflukce - pomalé odtékání povrchové vrstvy na roztálem povrchu trvale zmrzlé půdy. [49]
- Blokové sesuvy, které můžeme charakterizovat jako pomalé pohyby horninových bloků na měkkém podloží. [42]
- Gravitační vrásnění, kde spadá shrnování vrstev na strmých okrajích sedimentačních pánví. [42]
- Vytlačování měkkých hornin na dně údolí. Tento jev je v přírodě hojně rozšířený, avšak příliš si ho neuvědomujeme, protože se jedná o velmi pomalý proces. [42]
- Hlubinné plouživé pohyby hornin, které způsobují rozvolňování horských svahů a porušování horských hřebenů. Do této skupiny pohybů patří především dlouhodobé deformace horských svahů, jinak také označovány jako gravitační skluzy či gravitační posuny. [42, 49]

Při zvýšení hladiny podzemní vody v důsledku extrémních příválových srážek nebo v důsledku seizmických otřesů může ploužení přejít v mnohem nebezpečnější a rychlejší fáze pohybu - sesouvání, stékání nebo řícení. [49]



Obr. 2: Tzv. opilý les, vzniklý v důsledku gravitačních svahových pohybů - soliflukce [zdroj: 19]

### 2.2.2 Sesouvání

Pojmem sesouvání označujeme pohyby horniny po svahu, při kterých jsou sesouvající se hmoty odděleny od pevného podloží zřetelnou smykovou plochou. Rychlost pohybu horninových hmot je obvykle v řádech metrů za den. Tyto pohyby dělíme dle plošného tvaru na plošné, proudové a frontální. Plošné sesuvy vznikají na plochých svazích a délka a šířka sesuvu jsou přibližně stejné. Naopak u proudových převažuje rozměr délky nad šířkou. U frontálních sesuvů je dominantním rozměrem zase šířka. [23, 42, 49]

Dále dělíme sesouvání podle tvaru smykové plochy. Rozeznáváme smykové plochy rotační s válcovým tvarem smykové plochy, planární, jejíž smyková plocha má rovinný tvar, rotačně planární se složenou smykovou plochou a translační, vznikající na horizontálně vytvořené smykové ploše. [23, 42, 49]

V roce 1986 Egon Fussgänger rozšířil dělení svahových pohybů typu sesouvání. Rozeznává tyto základní typy: [23]

- Klouzání (smýkání), u kterého mezi nejrozšířenější svahové pohyby patří klouzání zemin podél rovinné a rotační smykové plochy či klouzání skalních hornin podél rovinných ploch. [23, 42]
- Vytlačení, pro které je charakteristické sesouváním podél kluzné plochy v důsledku vytlačení méně únosných podkladových zemin. [23, 42]
- Prosedání, vede k sesunutí v důsledku náhlého rozrušení původní struktury vrstvy prachovitých (sprašových) zemin vlivem převlhčení, vyluhování nebo vlivem seizmických otřesů. [23]
- Vyplachování, při kterém dochází v důsledku hydrodynamického působení podzemních vod k sesunutí vrstvy stejnozrnných písčito-prachovitých a písčitých zemin. [23, 42]

### 2.2.3 Stékání

Jedná se o rychlé krátkodobé pohyby s rychlostí pohybu horninových hmot několik metrů až kilometrů za hodinu. Tato hmota obsahuje takové množství vody, že pohyb má charakter tečení. [42, 49]

Do této skupiny můžeme zařadit následující typy pohybů:

- Zemní proudy a proudové sesuvy. Tyto pohyby jsou typické rozlehlou odlučnou oblastí v horní části svahu a bočníkovitou akumulační oblastí v patě svahu. [49]

- Přívalové suťové proudy (mury). Jedná se o rychlé pohyby svahových sutí, které vznikají v sypkých nesoudržných horninách. Pojmem mury jsou nazývány místní alpské suťové proudy. Tyto proudy způsobují velké škody, porušují silnice, železnice a zavalují zemědělskou půdu. Na našem území se vyskytují pouze ve vysokých nadmořských výškách nad hranicí lesů. [49]
- Svahové poruchy vzniklé vyplavováním nebo ztekucením písku, které nejčastěji nastávají účinkem sil způsobených prouděním vody pískem. [49]
- Sesuvy citlivých jílu. Tyto pohyby se týkají jílovitých sedimentů mořského původu, které za určitých podmínek přecházejí z pevného stavu na viskózní kapalinu. Pevnost těchto sedimentů se postupem času snižuje, což je zapříčiněno zmenšováním obsahu soli ve vodě v pórech zeminy. Iniciací těchto pohybů může být například břehová eroze nebo různé ořesy. [49]
- Sesouváním a odtékáním nezpevněných sedimentů po ukloněném dnu pod hladinou podzemní vody vznikají subakvatické skluzy. Nejčastěji se tvoří v jezerech a na mořském pobřeží. [49]

## 2.2.4 Řícení

Jedná se o náhlé říťivé pohyby, při kterých se rychlost horninové hmoty pohybuje v metrech za sekundu. Při pohybu převládá volný pád. Mezi faktory způsobující skalní řícení patří zejména působení zemské tíže, rozpukání a tektonické porušení hornin, povětrnostní vlivy a podemletí nebo umělé podkopání strmých skalních svahů. [42, 49]

Mezi základní typy řícení patří:

- Sesypávání, při němž dochází k přemísťování drobných úlomků kutálením, válením a přeskokováním. [42, 49]
- Opadávání - náhlé přemísťování úlomků hornin volným pádem. [42, 49]
- Odvalování sklouznutím, při kterém dochází k náhlému přemísťování skalních bloků. V rámci tohoto procesu nastává kombinace klouzání po předurčené ploše s volným pádem. [49]
- Odvalování překlopením, které vede k náhlému přemísťování bloků a stěn skalních hornin, nebo zemin, především volným pádem. [42, 49]





*Obr. 3: Ukázka skalního řícení - Julské Alpy, Slovinsko [zdroj: 19]*

## **2.3 Sanace sesuvů**

Volba vhodného typu sanačního opatření závisí především na míře finanční náročnosti jejího provedení. V praxi se hojně využívají kombinace jednotlivých sanačních opatření, jež se navzájem doplňují. Vždy je ovšem nezbytné zvolit správný rozvrh postupu jednotlivých prací. V následujících kapitolách jsou uvedeny některé z nejpoužívanějších sanačních metod.

### **2.3.1 Odvodnění sesuvů**

Přítomnost vody ve svahu velmi často zapříčiňuje svahové pohyby. Jedná se o povrchový odtok způsobený atmosférickými srážkami nebo zvýšenými přítoky podzemní



vody. Samotné odvodňování svahů můžeme rozdělit na hlubinné a povrchové. Druhá zmíněná metoda patří mezi jeden z prvních kroků při sanačních pracích.

### **Povrchové odvodnění**

Jedním z typických znaků sesuvů jsou tzv. mokřadla - voda se zdržuje v nerovném a nepravidelně zvlněném prostoru či v trhlinách vzniklých při sesuvech. Z tohoto důvodu je povrchové odvodnění jedním z prvních opatření při sanačních pracích. Povrchové odvodnění vede k vysušení a k uklidnění sesuvu. [49]

Prvním krokem při povrchovém odvodnění je z postiženého území zachytit a odvést vodu, a to z veškerých potoků, či dočasných povrchových vodotečí, jež ze širokého okolí přitékají na toto území. Stejný zřetel je třeba brát i na všechny prameny v této lokalitě vyvěrající. K tomuto účelu jsou nejčastěji zřizovány různé potrubní systémy. [49]

Dalším krokem je zřízení systému pro okamžité odvedení srážkové vody a vody, která přitéká z vyšších pater svahu. Pro tyto účely jsou zřizovány prosté rýhy po spádnici, odvodňující systémy vodotěsných dlážděných příkopů, rigolů a drenáží. Zaústění bývá provedeno do povrchové vodoteče nebo kanalizace. Nezbytná je pravidelná kontrola a údržba těchto vybudovaných systémů z důvodu udržení jejich funkce. [42]



*Obr. 4: Povrchová odvodnění na území postiženého sesuvem - Prachatice [zdroj: 4]*

- Drenážní žebra

Tato metoda sanace svahů je hojně využívána především u liniových dopravních staveb. Účelem je odvedení a shromáždění vody z okolního prostředí do těchto žeber. Princip spočívá v odtoku vody z prostředí s menší propustností do prostředí s vysokou propustností. Důležitý z hlediska funkčnosti je návrh orientace žeber - obvykle bývají žebra řešena spádníkově. Pro správné fungování se nesmí podcenit ani provedení zaústění do povrchové vodoteče nebo kanalizace. [26]

Drenážní systém se skládá ze žeber svodných a záchytných. Záchytná žebra slouží k zachycení a odvedení vody, která přitéká do sanovaného území z vyšších pater svahu. Záchytná žebra jsou napojena na žebra svodná, která odvádí vodu pryč z tohoto území. Žebra bývají vyhloubena do hornin skalního podkladu nebo do prostoru smykové plochy. Výplň žeber je obvykle tvořena hrubozrnným kamenivem, které musí být nenamrzavé a dobře propustné. Pro urychlení odvodu vody může být v žebrech umístěno perforované plastové potrubí. Povrch žeber může být volný, anebo se provádí zakrytí geotextilií a osazení vegetací. [20, 26]

Při provádění zalesnění drénovaného území je třeba zohlednit rizika, která mohou vést ke ztrátě funkčnosti povrchového odvodnění. Zásadním kritériem pro stanovení těchto rizik je situování zalesněné části vzhledem k celkové topografii navrženého odvodnění. Obvykle se zalesňuje jenom část území. Mezi další kritéria patří stav drenážního odvodnění, jeho životnost, tendence drenážního systému ke stárnutí a množství vyskytujících se poruch. [25]

Kromě vlastního sanačního opatření jsou drenážní žebra využívána jako součásti konstrukcí plnící preventivní funkci z pohledu vzniku svahové deformace. [26]



*Obr. 5: Drenážní žebra - dálnice D8 u Dubkoviček [zdroj: 26]*

## Hloubkové odvodnění

Hloubkové odvodnění patří mezi první metody, jež jsou využívány pro stabilizaci svahů. Cílem tohoto opatření je snížení vodního tlaku na smykové ploše, což zapříčiňuje snížení aktivních sil, které se snaží uvést svah do pohybu.

- Horizontální odvodňovací vrtů

Tato metoda spočívá v odvodňování prostoru kolem smykových ploch, či snižování přítoku podzemní vody do míst ohrožených svahovým pohybem. U vrtů je důležité docílit jejich dosahu až do propustné vrstvy v podloží smykové plochy. Zřízení horizontálních odvodňovacích vrtů nepatří mezi jednoduché metody. Nezbytnou součástí budování horizontálních vrtů je inženýrskogeologický průzkum, a to z důvodu co nejpřesnějšího umístění vrtů. Vrtů jsou raženy z tzv. vrtných hnízd, jež bývají umístěna mimo tělo svahové deformace (obr. 6). Odtud je voda například drenážemi odvedena mimo zasažené území. Z důvodu usnadnění prosakování vody se do vrtů osazuje řada perforovaných trubek. [27, 42, 49]



Obr. 6: Hnízdo horizontálních odvodňovacích vrtů - dálnice D1, Slovensko [zdroj: 27]

- Drenážní štoly

Další možností, avšak v dnešní době málo využívanou, jsou drenážní štoly. Jejich menší počet využívání je zapříčiněn větší pořizovací cenou, která je způsobena nákladnou ražbou a velkým průměrem vrtu. Jedná se o horizontální, ojediněle vertikální díla, jejichž metoda ražby je přizpůsobena horninovému prostředí v dané lokalitě. Z důvodu přirozeného odtoku vody jsou budovány se sklonem nivelety. Využívají se především pro sanační práce velkých svahových pohybů, kde se nachází složité a hluboké smykové plochy, nebo pro odvodnění velkého objemu podzemních vod. [47, 49]

- Čerpací studně

Velkou výhodou tohoto systému je možnost odvodnění rizikového svahu do velkých hloubek. Při využití sifonových drénů do hloubky přibližně 10 m, u elektropneumatických drénů dosahuje tato hloubka až 40 m. Systém pneumatických drénů využívá technologie, pro které je nutná dodávka elektrické energie, naopak u sifonových drénů je využita technologie, jež nevyužívá dodávek energie. [43]

Naopak mezi nevýhody patří vrtání většího průměru, okolo 300 mm, což vede ke zpomalování prací. Nejvýhodnější je tato metoda pro zeminy písčité a písčitojílité, a to díky jejich optimální propustnosti. [43, 49]

- Elektroosmotická drenáž

Elektroosmotická drenáž patří mezi speciální metody odvodňování svahů a je založena na principu elektroosmózy. Využívá se pouze v ojedinělých případech pro zeminy nasycené vodou, nebo zeminy obtížně odvodnitelné. Princip metody spočívá v zavedení stejnosměrného proudu do zeminy, což vede k uvolňování velkého množství vázané vody, jež může být poté odčerpávána. Do sanovaného zamokřeného území se nejprve umístí elektrody. Po zavedení stejnosměrného elektrického proudu nastane pohyb vody od anodové (připojena na kladný pól) ke katodové elektrodě (připojena na záporný pól). Katodové elektrody musí být upraveny na vtok vody ze sanovaného území, a proto bývají nejčastěji tvořeny jehlovými studnami o průměrech 50 - 60 mm. Ve spodní části jsou děrované a obalené ochranným pletivem z důvodu zamezení jejich zanášení částicemi vyplachované zeminy. Z těchto elektrod je poté voda odčerpávána pryč ze sanovaného území. Anodové elektrody jsou vyráběny z hliníkových tyčí. [30, 42]

Účinnost této metody závisí na vzdálenosti mezi elektrodami a na fyzikálních vlastnostech prostředí, jež je odvodňováno. [20]

### **2.3.2 Ochrana svahu před erozí a zvětráváním**

#### **Ochrana lomovým kamenivem**

Při této metodě dochází k pokrytí svahu lomovým kamenem. Takto vytvořená celistvá plocha zabraňuje erozi povrchové vrstvy zeminy. Využívá se především u svahů, u kterých hrozí spláchnutí povrchové vrstvy vlivem atmosférických srážek, a následný sesuv. [37]

Metoda se provádí ručně. Jednotlivé kameny o velikosti několika decimetrů jsou ukládány buď volně, bez vzájemné vazby, nebo jsou vzájemně zajištěny betonovou maltou. U zvláště porušeného prostředí je nutné provést ukotvení plochy lomového kamene do pevného podlaží. Tuto metodu lze využívat u svahu se sklonem do 60 - 70°. [37]

#### **Sanace pomocí vegetačního porostu**

Metoda sanace vegetačním porostem bývá v praxi často podceňována. Je nutné si však uvědomit, že drnová pokrývka brání jednak vysušení povrchu a tím pádem vzniku smršťovacích trhlin, a dále do určité hloubky odnímá vlhkost horninám. Je vhodná především u mělkých plošných sesuvů. [49]

Při sanaci se využívá kombinace travin a bylin s vhodnými dřevinami, které mají největší spotřebu vody a největší výpar. Mezi ně patří dřeviny listnaté, jako jsou olše, topol či vrba. Naopak dřeviny jehličnaté nejsou vhodné, protože mají nízké vypařování. Pro sanaci jsou nejvýhodnější trvale smíšené lesy, které se průběžně obnovují. [49]

V současnosti je hojně využívaná metoda takzvaného hydroosevu. Jedná se o způsob zatravnění svahu pomocí postřiku homogenní suspenzí. Tato suspenze vzniká mísením osiva, hnojiva a mulčovacího materiálu s vodou uvnitř nádrže. Metoda je ovšem pouze doplňková, jelikož ovlivňuje stabilitu svahu pouze v dosahu kořenového systému trav a keřů. Využívá se především pro ochranu svahu ohrožených erozí vodou na těžko dostupných místech. [29]



## **Protierozní sítě, rohože**

Cílem protierozních rohoží a sítí je zabránění erozi svahu a urychlení jeho ozelenění, čehož je dosaženo díky zachycení semen trav a rostlin do struktury sítě. Tyto sítě jsou vyráběny jako přírodní či syntetické, nebo se provádějí kombinace obou materiálů. [38]

Syntetické sítě jsou charakteristické svou větší odolností a životností ve srovnání se sítěmi přírodními. Materiál přírodních sítí tvoří kokos a juta, životnost jutových sítí je uváděna na 2 - 3 roky, u kokosových sítí 5 - 7 let. Tento čas však stačí k vytvoření vegetačního krytu, který dopomáhá k uklidnění sesuvu. Výhodou přírodních sítí je také ekologičnost materiálu - při jejím rozpadu nedochází k poškození životního prostředí. [38]

Další využívanou metodou jsou gabionové rohože. Rohože jsou ukotveny do pevného horninového prostředí pomocí ocelových tahových tyčí o průměru okolo 25 mm. Tyto mělké gabionové konstrukce brání dalšímu odpadávání porušených částí svahu, což zabraňuje pokračování eroze do hloubky. Rohože jsou prováděny ručně, a to u svahu se sklonem do 70°. [39]

### **2.3.3 Úprava tvaru svahu**

Toto sanační opatření spočívá ve zvětšení objemu zeminy v patě svahu, nebo jeho zmenšení ve vyšších polohách. V důsledku toho dochází ke zvýšení pasivních sil v akumulačních částech svahu, nebo snížení aktivních sil v odlučné části svahu. Za jeden z nejpoužívanějších sanačních opatření při úpravě tvaru svahu lze označit přítěžovací násypy (lavice) v patě svahů. Dále se hojně využívají odlehčovací zářezy v horní části svahu, odstranění sesutého materiálu, nebo také zmírnění samotného sklonu svahu. [23, 42, 49]

#### **Přítěžovací lavice**

Zřizování přítěžovacích lavic patří díky jednoduchosti provedení mezi jedny z nejpoužívanějších sanačních metod zabráňujících nebo zpomalujících svahové pohyby. [21]

Při vybudování lavice dochází v patě svahu ke zvýšení pasivních sil dynamické rovnováhy. Lavice se provádějí jako prosté. Lavice dosahující větších výšek se provádějí jako stupňovité. [21]

Nejprve je provedeno odtěžení části akumulovaného materiálu. Poté je na povrch položena netkaná geotextilie plnící funkci separační a filtrační. Následně se provede přísyp z drčeného kameniva. Podle použitého materiálu je nutné provést odvodnění konstrukce přítěžovací lavice. [21]

### **2.3.4 Pilotové a podzemní stěny**

Významné dopravní komunikace se chrání pomocí velkopřůměrových pilotových stěn. Konstrukce je tvořena pravidelně rozmístěnými pilotami zachycující zemní a hydrostatický tlak. Navrhují se jako nekotvené (volně stojící) nebo kotvené. Piloty jsou obvykle zhotoveny vrtáním, do vrtů je umístěna armatura a prostor je nakonec vyplněn betonovou směsí. Pilotové stěny vzhledem ke své masivnosti lze provádět pouze na základně velmi podrobného IG průzkumu. [42]

Podzemní, neboli také milánské stěny, plní funkci konstrukční, pažící a těsnící. Zhotovují se jako monolitické nebo prefabrikované. Více se využívají stěny monolitické, především z důvodu nižší pořizovací ceny a kratší doby výstavby v porovnání se stěnami prefabrikovanými. [28]

Mezi výhody podzemních stěn patří především možnost jejich provedení před zásahem do sesuvu a využití ve všech druzích zemín s výjimkou skalních hornin. Naopak jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena. [28, 42]

### **2.3.5 Využití svorníků a zemních kotev**

Zajištění stability svahů kotvením je v dnešní době hojně využívanou metodou. Principem metody je zajištění stability svahů aplikací kotvení uvolněných bloků hornin do pevné části horninového masivu. Rozdíl mezi svorníky a zemními kotvami je především v jejich rozměrech. Svorníky jsou kratší kotevní tyče, zatímco zemní kotvy bývají zakotvené hluboko do svahu, proto jsou delší a mohutnější. [48, 49]

Svorníky se do svahu osazují poměrně hustě, z toho důvodu působí jednak tahem, ale také i smykem. Po celé své délce jsou obvykle opatřeny zálivkou. Zemní kotvy se kotví hluboko, proto jsou využívána lanová nebo tyčová táhla. [49]

Životnost těchto konstrukcí je dána především mírou agresivity prostředí a s tím souvisejícím způsobem povrchové úpravy jednotlivých prvků.

### 2.3.6 Opěrné konstrukce

Opěrné konstrukce jsou využívány tehdy, nelze-li upravit svah do bezpečného sklonu. Nejčastěji se jimi zabezpečují čela sesuvů a svahy zářezů nad zástavbou či pozemní komunikací. Zárubní zdi se provádějí jako zděné konstrukce betonové a kamenné. V minulosti se stavěly masivní konstrukce, v současnosti se preferují tenkostěnné zdi. [49]

Mezi hlavní problémy při provádění opěrných konstrukcí patří zejména jejich předimenzování, špatné založení nebo neprovedení posouzení stability celé konstrukce opěrné zdi.



*Obr. 7: Sanace zářezu železniční tratě opěrnou zď - Prachatice [zdroj: 4]*

#### **Gabionová stěna**

V současnosti je hojně rozšířenou variantou sanace gabionová stěna, která je využívána především kolem dopravních komunikací. Jedná se o koše z drátěného pletiva, nebo ze svařovaných sítí vyplněné kamenivem. Mezi její hlavní přednosti patří nízká pořizovací cena ve srovnání s klasickými konstrukcemi, rychlost výstavby a možnost recyklace materiálů použitých při výstavbě. [16, 42]



Při provádění gabionové stěny se nejprve vytýčí stavební objekt, odstraní se všechny nežádoucí dřeviny, provedou se výkopové práce a připraví se základová spára - vytvoření základu (štěrkové lože, betonový základ). Poté se vytvoří konstrukce gabionového koše s následným plněním kamenivem. [17]

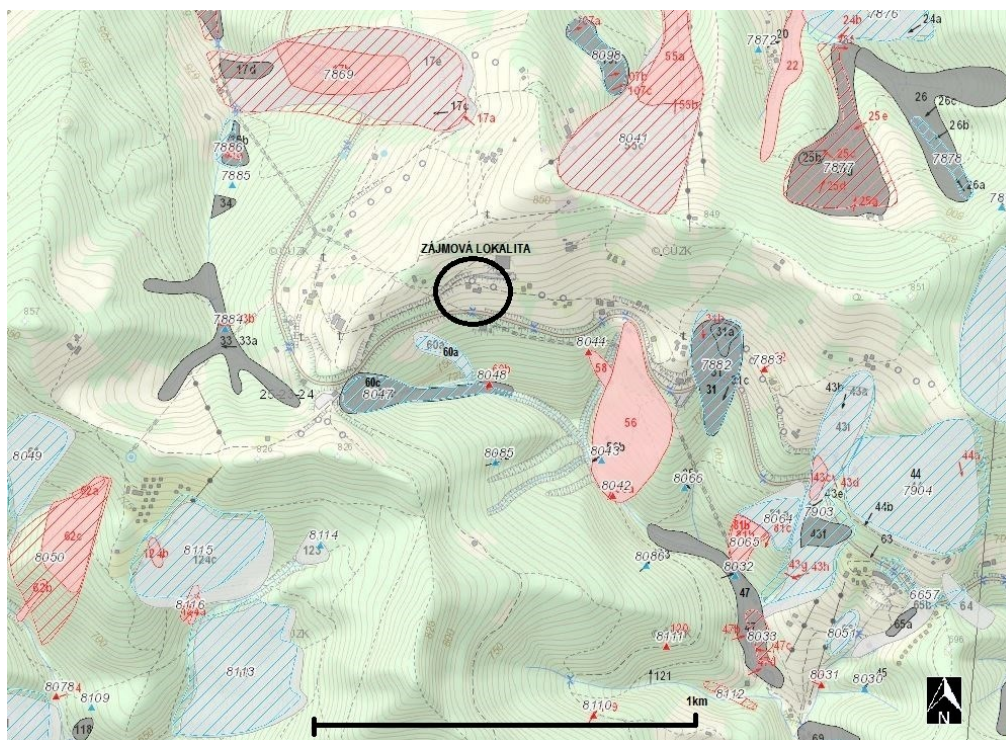
U těchto konstrukcí je důležitou otázkou jejich životnost. U kameniva dochází vlivem povětrnostních podmínek ke změnám jeho struktury - zvětrávání. Proto je třeba brát zřetel na výběr vhodného druhu kameniva s dostatečnou odolností. Na životnost gabionových konstrukcí má také nezanedbatelný vliv volba drátu, z něhož jsou vyráběny koše. To se týká především jeho tahové pevnosti, tloušťky či způsobu povrchové ochrany.



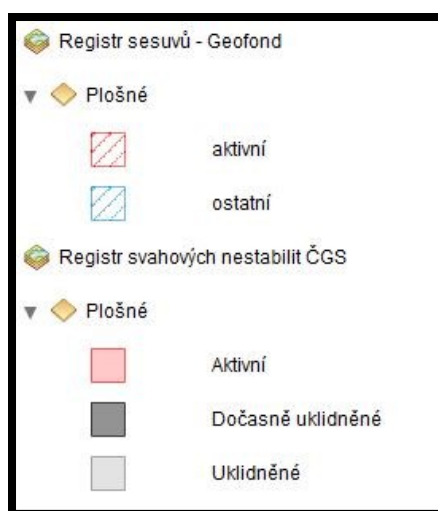
*Obr. 8: Gabionová stěna - Dolní Poustevna [zdroj: 16]*

## 2.4 Sesuvy v okolí Soláně

Jak můžeme vidět na obrázku č. 9, v okolí naší zájmové lokality je registrováno několik plošných sesuvů. Jedná se o mapu svahových nestabilit České geologické služby, která značí plošné sesuvy červenou, modrou a dvěma odstíny šedé barvy. Tmavě šedou jsou značeny sesuvy dočasně uklidněné, světle šedou uklidněné, červenou barvou jsou označovány sesuvy aktivní a modrou ostatní sesuvy.



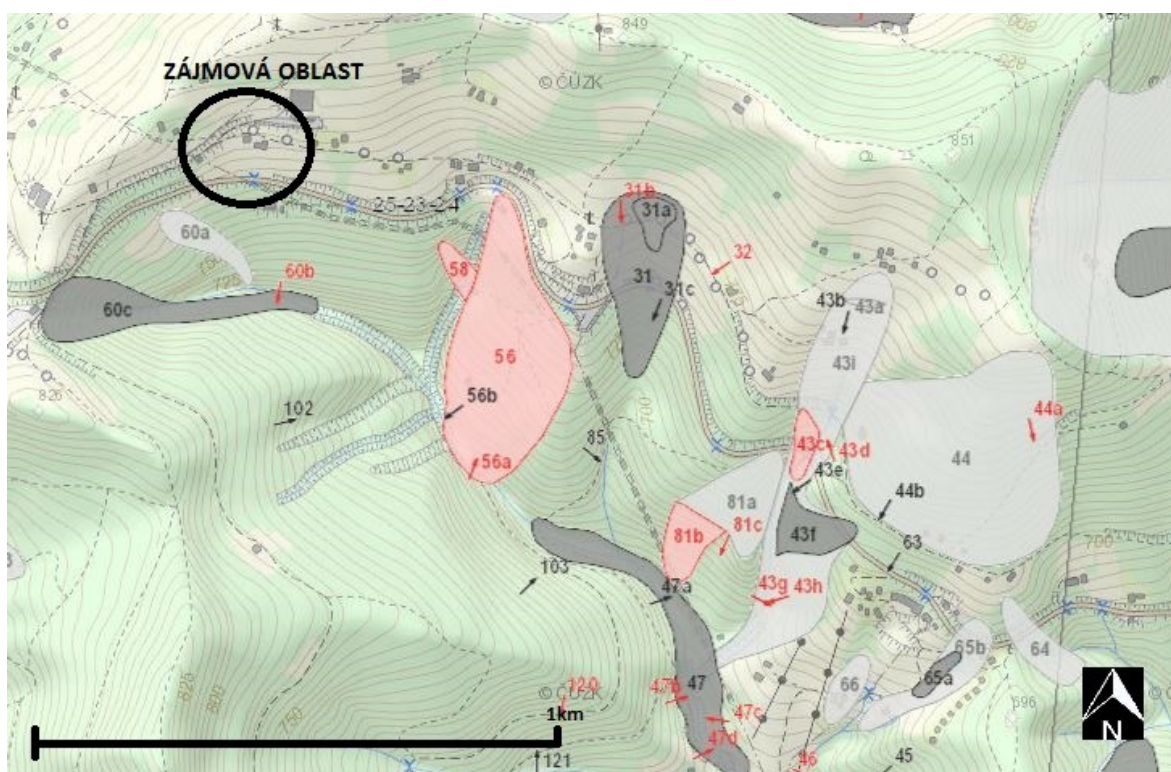
Obr. 9: Mapa plošných sesuvů v okolí zájmové oblasti [zdroj: 3, úprava autor]



Obr. 10: Legenda k obrázku č. 9 [zdroj: 3]



Pro naši zájmovou oblast jsou významné plošné sesuvy nacházející se jihovýchodně od této lokality (obr. 11). Nachází se zde několik sesuvů, jak aktivních tak i uklidněných.



Obr. 11: Mapa plošných sesuvů jihovýchodně od zájmové oblasti [zdroj: 3, úprava autor]

Největší aktivní plošný sesuv na tomto území je označován číslem 56, jeho délka je 470 m a šířka v nejširším místě dosahuje 200 m. Svah se nachází nad levobřežním údolím potoka Bzový a je porušen povrchovým ploužením půdního krytu. Území je tvořeno převážně loukami s porosty jalovce. Celá oblast je pokryta četnými muldami, zamokřenými místy a nakloněnými stromy. Se sesuvem číslo 56 sousedí sesuv s číslem 58 nacházející se na pravém břehu bezejmenného levostranného přítoku potoka Bzový. Území je pokryto porostem smrků. Délka tohoto sesuvu je 80 m, šířka 35 m. Další aktivní sesuv je označen číslem 81b, o délce 120 m a šířce 90 m. Území bylo pokryto porostem smrkového lesa, který však byl pokácen. [8, 9, 10]

Poslední mnou prozkoumaný aktivní sesuv v blízkosti zájmové lokality je označen číslem 43c. Nachází se částečně nad silnicí č. II/481. Je dlouhý 90 m a v nejširším místě 40 m široký. Společnost GEO-ING Jihlava spol. s r.o. zde provedla sanaci tohoto sesuvu vybudováním gabionové stěny, a to z důvodu ochrany silnice (obr. 12). Čelo svahu je odvodněno povrchovým drenážním příkopem a odvodňovacími vrty. [11]



*Obr. 12: Sanace sesuvu 43c gabionovou zdí [zdroj: 11]*

V okolí Soláně se také nachází několik v současné době stabilizovaných sesuvů. Největší z nich je sesuv číslo 44. Jeho rozměry jsou 350x350 m. Jedná se o blokový sesuv, omezený výraznou odlučnou stěnou vysokou 15 m se sklonem 35°. Uvnitř tohoto sesuvného území byly samostatně popsány dva menší sesuvy pod čísly 44a, respektive 44b. [12]

Pod silnicí č. II/481 procházející v blízkosti zájmové oblasti se nachází uklidněný sesuv číslo 60a. Svahová deformace je proudového tvaru a nemá výrazněji vyvinutou akumulární část, čímž je omezena v terénu jasně patrným poklesem. Dosahuje délky 200 m a šířky 60 m, při průměrném sklonu 20°. [13]

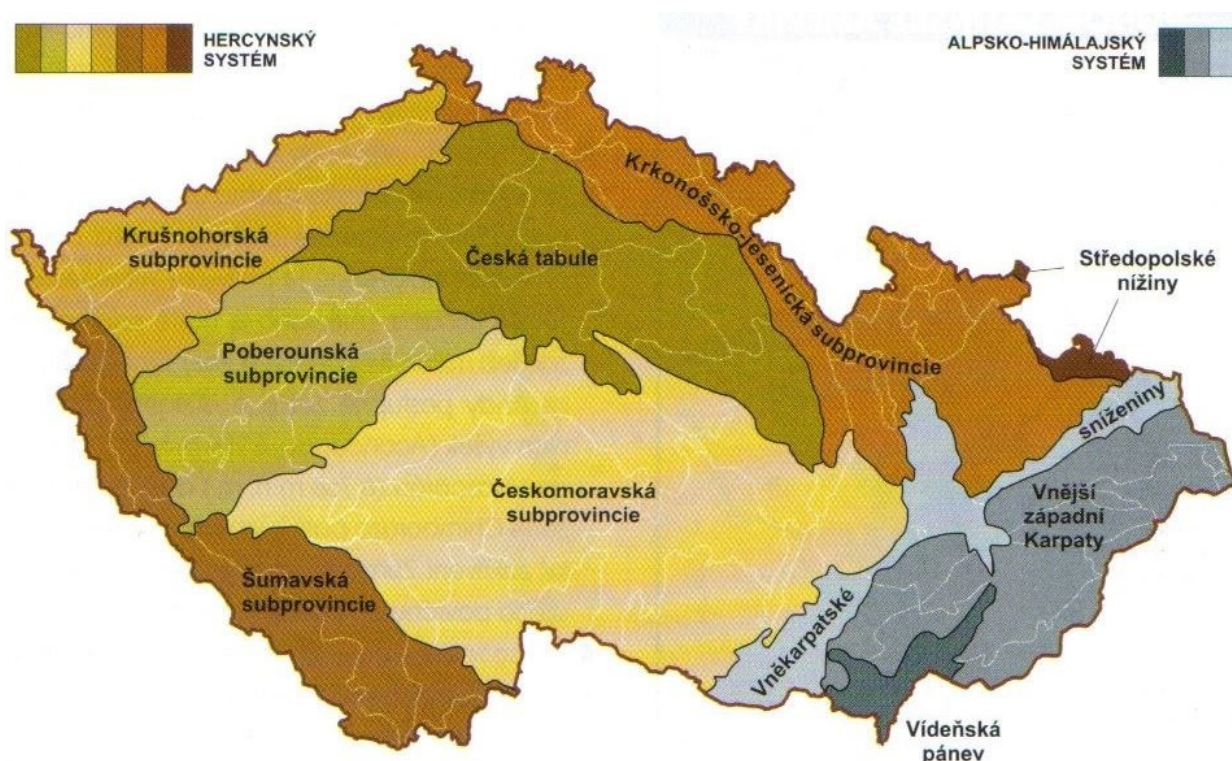
Další uklidněný sesuv je označován číslem 31. Sesuv je vymezen výraznou terénní hranou směrem k hřebenu a výrazně zahlobeným údolím s akumulací dalších uklidněných sesuvů, na které navazuje silně erodovaná strž potoka pod silnicí č. II/481. Délka tohoto sesuvu je 300 m a šířka 130 m. [14]



### 3 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry zájmové oblasti

#### 3.1 Geomorfologické poměry

Geomorfologicky je Česká republika rozdělena na dva systémy - Hercynský a Alpsko-himalájský. Systémy se dále dělí na subsystémy, provincie, subprovincie, oblasti a celky. Hercynský systém se rozkládá na celém území Čech a části jižní a severní Moravy. Na zbylém území se rozkládá systém Alpsko-himalájský. Podrobnější geomorfologické poměry v České republice jsou uvedeny na obrázku 13, na kterém je Hercynský systém znázorněn odstíny žluté a hnědé barvy a Alpsko-himalájský systém odstíny šedé barvy.



Obr. 13: Regionální geomorfologické členění ČR [zdroj: 24]

Pro naši sledovanou oblast je důležitý systém Alpsko-himalájský, do kterého naše lokalita spadá. Tento systém obsahuje dva subsystémy, které jsou rozděleny do tří subprovincií, a to do Vněkarpatské sniženiny, Vnějších západních Karpat a Vídeňské pánve. Jednotlivé subprovincie můžeme vidět na obrázku 13. Subprovincie se dále dělí na devět

oblastí, které jsou rozděleny do dvaadvaceti celků. Oblast Soláně tedy náleží do subsystému Karpaty, provincie Západní Karpaty, subprovincie Vnější západní Karpaty, oblasti Západních Beskyd, celku Hostýnsko-Vsetínská hornatina a konečně podcelku Vsetínských vrchů.



Obr. 14: Oblast Vsetínských vrchů [zdroj: 22, úprava autor]

### 3.2 Inženýrskogeologický průzkum

Cílem inženýrskogeologického průzkumu je získání informací o geologickém prostředí zájmové lokality. Prvním krokem tohoto průzkumu je studium archivních materiálů. Zdrojem těchto informací je především Česká geologická služba - Geofond.

Metody používané pro účely inženýrskogeologického průzkumu svahových nestabilit jsou:

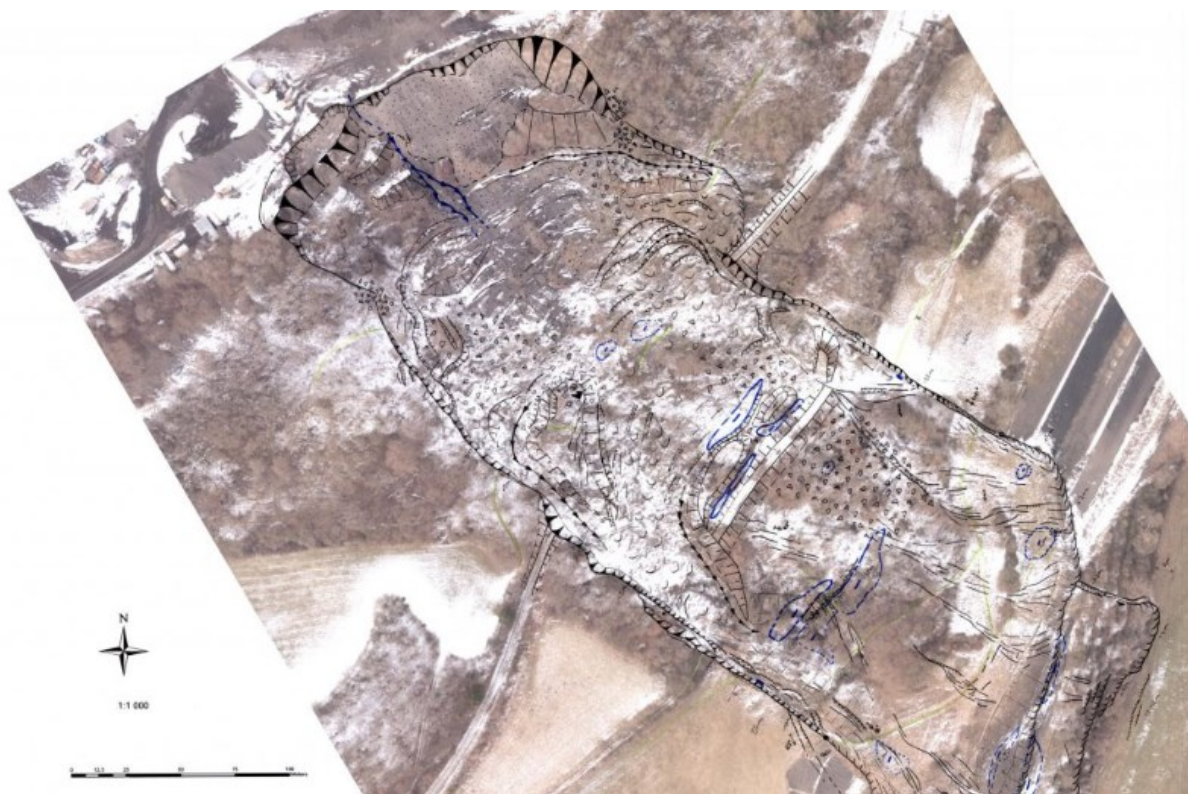
#### Mapování oblasti

Záměrem mapování oblasti je získání základních informací o svahové nestabilitě a zasaženém území. Smyslem mapování je zaznamenávání veškerých sesuvných projevů (odlučná oblast, transportní oblast, akumulární oblast atd.) do mapových podkladů. Dále



se zaznamenávají hydrogeologické objekty (vrty, studny) v těle svahové nestability a v jejím blízkém okolí. Dle míry zarůstání odlučné oblasti se zjišťuje staří svahové deformace. [32]

Opakované mapování oblasti by měla provádět vždy jedna a ta samá osoba. [32]



*Obr. 15: Terénní mapa sesuvu u Dobkoviček na Litoměřicku [zdroj: 32]*

## Technická průzkumná díla

Technická průzkumná díla slouží ke zjištění geologických poměrů v místě svahové nestability. Pro tyto účely jsou na místě zřizovány vrty jádrové a plnoprofilové, kopané sondy a zároveň se provádí statická či dynamická penetrace.

Při jádrovém vrtání dochází k oddělení horniny na obvodu vrtné korunky, přičemž vznikne jádro (válcový sloupec horniny), které je předáno geologovi pro sestavení geologického profilu vrtu. [33]

Plnoprofilové vrty rozeznáváme dvojího typu - rotační a šnekové. Během plnoprofilového vrtání je pomocí vrtné korunky rozrušována hornina v celé délce vrtu, přičemž je tato hornina díky šnekovému nebo rotačnímu vrtáku vynášena na povrch. Z takto

vyneseného materiálu poté geolog stanovuje geologický profil. Tento postup se využívá především u méně zpevněných hornin. [34]

Kopané sondy jsou ve srovnání s jádrovými nebo plnoprofilovými vrty relativně mělká díla, dosahující hloubky dle strojového vybavení. Aktuálně se provádějí převážně strojně, ovšem na málo přístupných místech se musí provádět i ručně. V tomto případě je třeba brát v potaz bezpečí pracovníků provádějící tyto sondy. [46]

Statická a dynamická penetrace slouží pro zjištění geologických poměrů lokality jako doplněk k průzkumu vrtných či kopaných sond. Stanovuje se díky ní odpor zemin proti zatlačování penetračního hrotu u statické penetrace, respektive zarážení penetračního hrotu u dynamické penetrace. [35, 36]



*Obr. 16.: Dynamická penetrace [zdroj: 36]*

### **3.3 Geologické poměry lokality**

Z geologického hlediska spadá naše zájmová oblast do magurské skupiny příkrovů, jež se vyznačuje flyšovou sedimentací s rytmičným střídáním psamitů a pelitů. Je rozdělena od severozápadu k jihovýchodu na tři faciálně-tektonické jednotky - račanskou, bystrickou a bělokarpatskou. Naše vyhodnocovaná lokalita se nachází v račanské jednotce. [22]



Račanská jednotka je rozlohou největší jednotka již zmíněné magurské skupiny příkrovů. Jako převažující jednotka se nachází v podloží Chřibů, Hostýnských vrchů, Vizovické vrchovině, Javorníků a ve Vsetínských vrších, kam také spadá naše lokalita. Skládá se z čelního antiklinoria, které je rovněž okrajovým antiklinoriem celé magurské skupiny příkrovů, středního synklinoria a skupiny vnitřních antiklinálních a synklinálních pásem. [22]

### 3.3.1 Geologický vývoj račanské jednotky

Račanská jednotka začala vznikat v juře, sedimentací kurovického vápence, objevující se na čele magurského příkrovu. Horniny jurského stáří jsou rovněž zastoupeny ve Chřibech a Hostýnských vrších. Další perioda, tzn. křída, je zastoupena tlumačovskými slínovci, které dosahují mocnosti až 60 m. Vyvinuly se z podložních jurských kurovických vápenců a tvoří je karbonátový flyš obsahující světle šedé slínovce, vápence a prachové slíny. Tlumačovské slínovce přecházejí v přibližně 500 m mocný sled černošedých jílovců a vápnitých jílovců s pískovci, dále pak pásmem prokřemenělých jílovců zakončených šedými a zelenošedými skvrnitými jílovci. Tyto sedimenty jsou souhrnně označovány jako Gault flyš. Následuje asi 200 m mocný sled kaumberského souvrství. Typickým znakem kaumberského souvrství je proužkovité střídání pelagických rudohnědých a zelenavých jílovců. [22]

Nadloží kaumberského souvrství je tvořeno solaňským souvrstvím, které bylo vytvořeno během alpského vrásnění, kdy docházelo k postupnému zvýšení přínosu klastického materiálu, následně uloženého v podobě mocných vrstev slepenců a pískovců. Solaňské souvrství můžeme litostratigraficky rozdělit do dvou skupin:

- a) psamiticko-pelitickou, u které převažuje středně rytmická flyš a vytváří ráztocké a hostýnské vrstvy, [22]
- b) psamitickou s převahou hrubě lavicovitých drobovitých pískovců a slepenců s exotickýmiolistolity vytvářející lukovské vrstvy. [22]

Následuje nadložní vrstva belovežského souvrství o celkové mocnosti 200 m. Vrchní část tohoto souvrství je tvořena drobně rytmickým flyšem s šedými a zelenými jílovci a křemitovápennými pískovci. Ve vnitřní části jsou obsaženy hrubozrnné arkózové pískovce. [21]

Stratigraficky nejmladší je zlínské souvrství s mocností přesahující 3 000 m. Toto souvrství tvoří převážnou část povrchu račanské jednotky a je tvořeno celkem šesti částmi: rusavskými, křivskými, újezdskými, luhačovickými, vsetínskými a kyčerskými vrstvami. [22]

### 3.4 Hydrogeologický průzkum

Hydrogeologický průzkum je obvykle prováděn s průzkumem inženýrskogeologickým. Účelem hydrogeologického průzkumu je zjištění veškerých údajů o výskytu povrchové a podzemní vody na sledovaném území. Hydrogeologický průzkum můžeme rozdělit na tři fáze. První fází je úvodní hydrogeologické mapování, na které navazuje předběžný a podrobný hydrogeologický průzkum. [31, 49]

Během hydrogeologického mapování a předběžného průzkumu nejsou obvykle prováděny technické práce, mezi které patří vrtné, laboratorní a geofyzikální práce. V této etapě je prováděno studium archivních materiálů dané lokality. Využívány jsou především podklady Geofondu. Dále jsou prováděny důkladné rekognoskační práce - zaznamenává se výskyt mokřad, pramenišť, je sledován stav rostlinného pokryvu a zaznamenává se úroveň hladiny podzemní vody ve všech dostupných studních a vrtech. [31]

Podrobný hydrogeologický průzkum je prováděn v případě nutnosti provést sanaci sesuvu. Slouží jako podklad pro návrh sanačního opatření. Pro tento průzkum je nezbytné provedení vrtných prací v těle sesuvu a jeho blízkém okolí. Provedené vrty jsou vystrojeny pažnicemi, čímž vzniknou hydrogeologické vrty, díky nimž můžeme zjistit hydrogeologické a hydrologické poměry sledovaného území. Pro provedení podrobného hydrogeologického průzkumu je nutné zajistit sjízdnost povrchu pro dopravu vrtné techniky. Dále je nutné provést ověření a vytyčení inženýrských sítí, elektrických a jiných vedení. Nezbytné je zajištění souhlasu vlastníků pozemků v místě provádění průzkumu, a zjištění výskytu chráněných krajinných území na sledovaném území. [31]

S hydrogeologickým průzkumem úzce souvisí také hydrogeologický monitoring. Ten podává informace o účinnosti navržených sanačních opatření v podobě odvodňovacích prvků. [31]



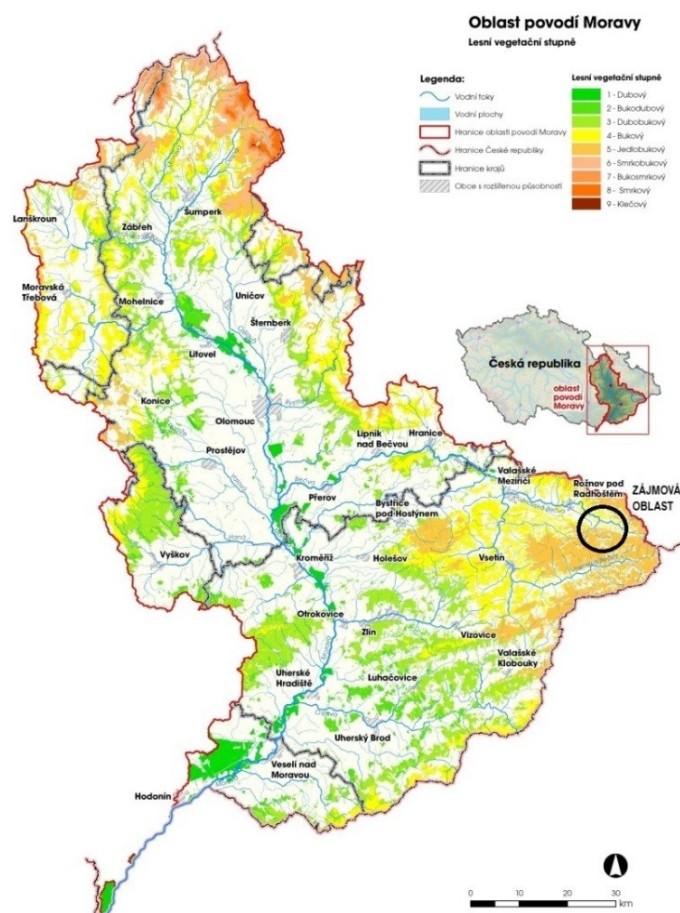
*Obr. 17: Vrtné práce při hydrogeologickém průzkumu [zdroj: 31]*

## 3.5 Hydrologie oblasti

Bývalý okres Vsetín není příliš bohatý na podzemní vody. Tento fakt je zapříčiněn geologickým složením území. Horniny karpatské flyše jsou typické svou malou propustností a nejsou tedy příznivé pro výskyt a oběh podzemních vod. [5]

### 3.5.1 Hydrologie zájmového území

Soláň z hydrologického hlediska leží v povodí řeky Moravy. Povrchová voda z okolí zájmového území je odváděna třemi potoky: Bzovým a Jezerním, které tvoří přítok Vsetínské Bečvy, a Popelářským potokem, který se vlévá do Hutiského a Solaneckého potoku, jenž tvoří jeden z přítoků Rožnovské Bečvy. Vsetínská a Rožnovská Bečva svým soutokem u Valašského Meziříčí vytváří řeku Bečvu, která je největším levostranným přítokem řeky Moravy. Řeka Morava se vlévá do Dunaje a ten do Černého moře.



Obr. 18: Povodí Moravy [zdroj: 2, úprava autor]

Zdroje podzemních vod v okolí zájmové lokality mají s výjimkou několika případů malou a kolísavou vydatnost. I přes tyto nepříznivé podmínky, se zde nachází množství vývěr podzemních vod - pramenů. Převážná většina z nich je upravena do studánek. V blízkosti naší zájmové lokality se nachází několik studánek, které nesou název Pod Soláněm, Nad Bzovým či Solaňský pramínek. Kromě prostých vod se na tomto území nacházejí také minerální vody, avšak vydatnost minerálních výronů je malá. [5]

Na území bývalého vsetínského okresu není příliš značný ani výskyt stojatých vod. V okolí našeho zájmového území se nachází vodní nádrž Karolinka na řece Stanovnici o celkové ploše 50,5 ha. Slouží jako zásobárna pitné vody pro okres Vsetín a část okresu Zlín. V těsné blízkosti vodní nádrže Karolinka se nachází uměle vytvořené jezero nesoucí název Na Stanoch. To je dnes využíváno jako přírodní koupaliště. Další nádrží je vodní nádrž Horní Bečva na Rožnovské Bečvě, jež byla vybudována jako zásobárna vody pro plánovaný průplav Odry - Dunaj. Nedaleko Velkých Karlovic se také nachází rybník Jezero. [5]

## 4 Analýza stávajícího stavu

Pro sestavení analýzy stávajícího stavu sesuvu v zájmové oblasti bylo nejprve provedeno rekognoskační sledování pro vymezení zasaženého území (obr. 19). Následovalo zaměření lokality totální stanicí za účelem získání charakteristických řezů a pro posouzení stability stávajícího stavu byl využit geotechnický software GEO5 - stabilita svahu.



*Obr. 19: Zasažené území kolem příjezdové komunikace na horský hotel Solán  
[zdroj: 41, úprava autor]*

### 4.1 Rekognoskace terénu

Během roku 2015 byla lokalita zájmového území důkladně zmapována, byly vysledovány projevy sesuvu, jako například trhliny v silnici (obr. 20, 21), tzv. opilé stromy (obr. 22) a mokřady (obr. 23).

Díky tomu bylo vymezeno zasažené území - nachází se mezi příjezdovou komunikací na horský hotel Solán a silnicí č. II/481 (obr. 19). Délka sesuvu se pohybuje okolo 125 m a šířka kolem 105 m. Celková plocha zasaženého území tedy přesahuje 1,3 ha.





*Obr. 20: Trhliny v příjezdové komunikaci na horský hotel Soláň [zdroj: autor]*



*Obr. 21: Odtržení komunikace na ulici Bzové procházející zasaženým územím [zdroj: autor]*





*Obr. 22: Tzv. opilý strom [zdroj: autor]*



*Obr. 23: Mokřady [zdroj: autor]*



Na zasaženém území se nachází rodinný dům s přilehlým hospodářským objektem paní Závorkové. Rodinný dům je po kompletní rekonstrukci. V rámci rekonstrukce bylo provedeno i zateplení fasády a výměna střešní krytiny. Z tohoto důvodu nebylo možné na tomto objektu vysledovat projevy sesuvu. Podle výpovědi paní Závorkové nebyly ovšem před rekonstrukcí pozorovány žádné praskliny nebo trhliny. Na sousedním hospodářském objektu je však možné sledovat mnohé praskliny a trhliny (obr. 24). Dá se předpokládat, že jsou projevem dlouhodobého sedání vlivem sesuvného procesu.



*Obr. 24: Praskliny na hospodářském objektu paní Závorkové [zdroj: autor]*

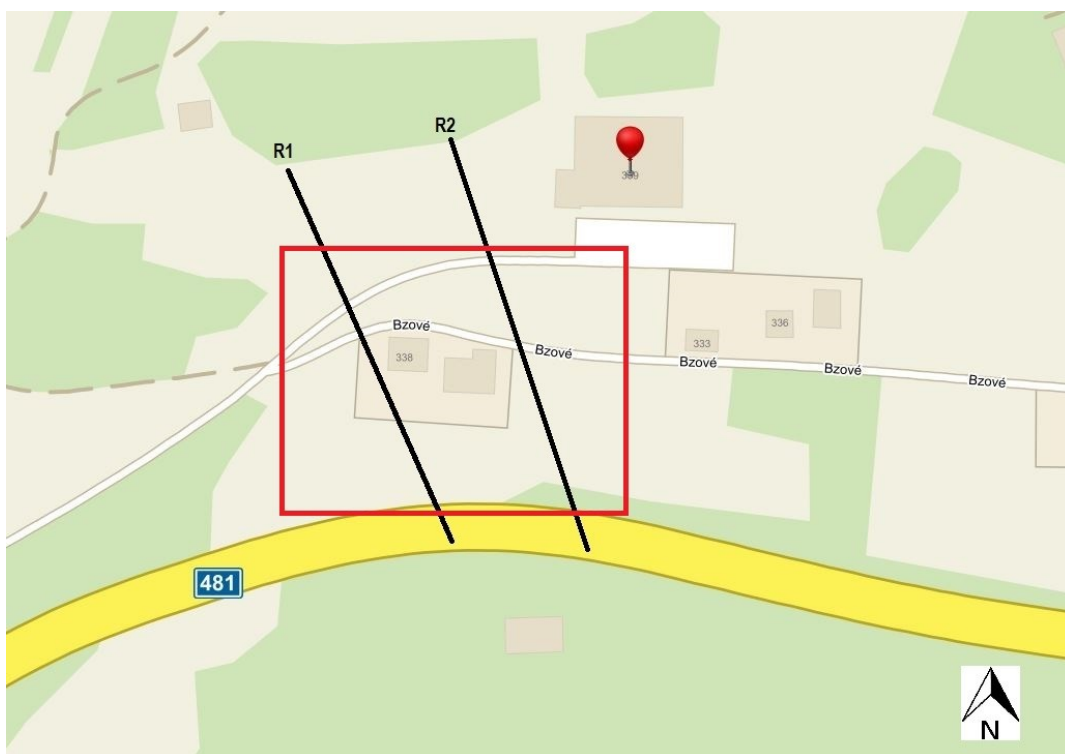
## **4.2 Měření totální stanicí**

Na základě rekognoscace terénu byly na zasaženém území vytipovány a následně zaměřeny dva charakteristické řezy R1 a R2 (obr. 26). Měření proběhlo v květnu roku 2015 a bylo provedeno totální stanicí Leica TPS1200.





*Obr. 25: Zaměření zájmové lokality totální stanicí Leica TPS1200 [zdroj: autor]*



*Obr. 26: Rozmístění charakteristických řezů [zdroj: 41, úprava autor]*

### 4.3 Materiálové charakteristiky

Geologie pro účely sestavení modelu byla sestavena pomocí dat z archivu Geofondu. Na mapě vrtné prozkoumanosti byl vytipován vrt číslo 715154 (obr. 27), na jehož základě byla sestavena geometrie modelu odpovídající reálné situaci. Jednalo se o průzkumný termovrt, který byl proveden v květnu roku 2011. Vrtem byl zjištěn následující litologický profil:

0,0 - 0,5 m	jílovitá hlína hnědá
-------------	----------------------

0,5 - 2,0 m	silně jílovitá hlína
-------------	----------------------

#### ***-kvartér-***

2,0 - 5,0 m	jílovec silně rozvětralý až rozpadavý (eluvium)
-------------	---

5,0 - 50,0 m	jílovec ve svrchní části rozvětralý, načervenalý
--------------	--

50,0 - 54,0 m	jílovec šedozelený
---------------	--------------------

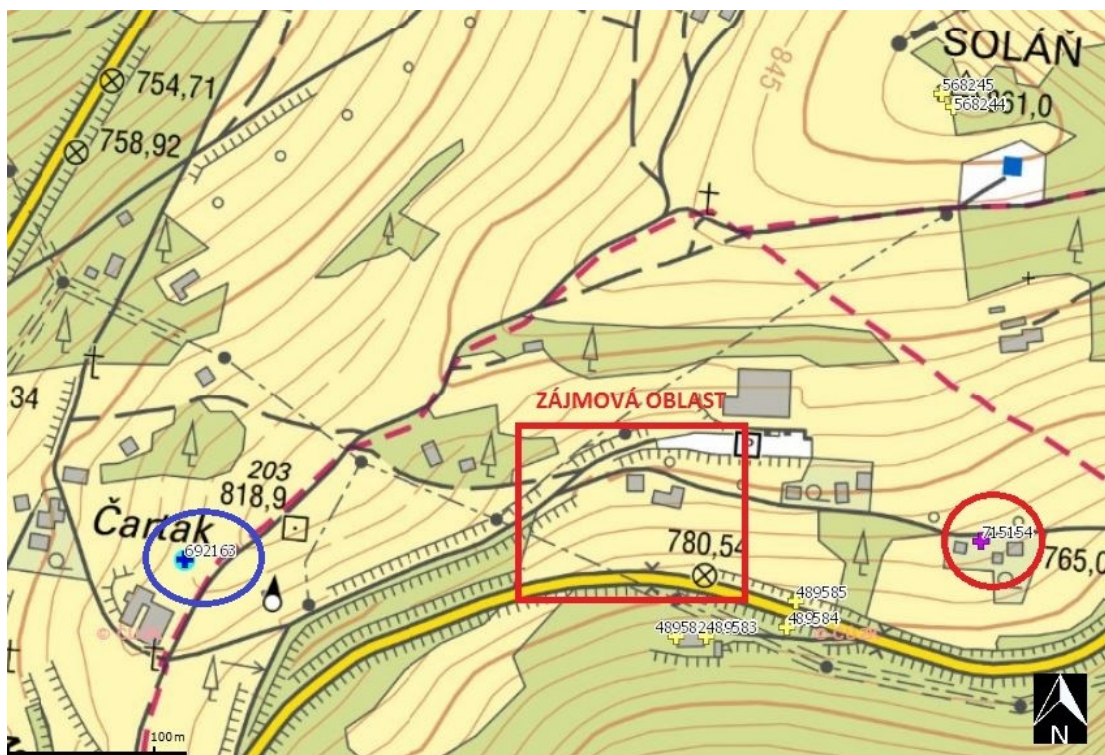
54,0 - 109,0 m	pískovec šedý, silně rozpukaný
----------------	--------------------------------

109,0 - 130,0 m	pískovec šedý s proplástky šedozeleného jílovce, silně rozpukaný
-----------------	--

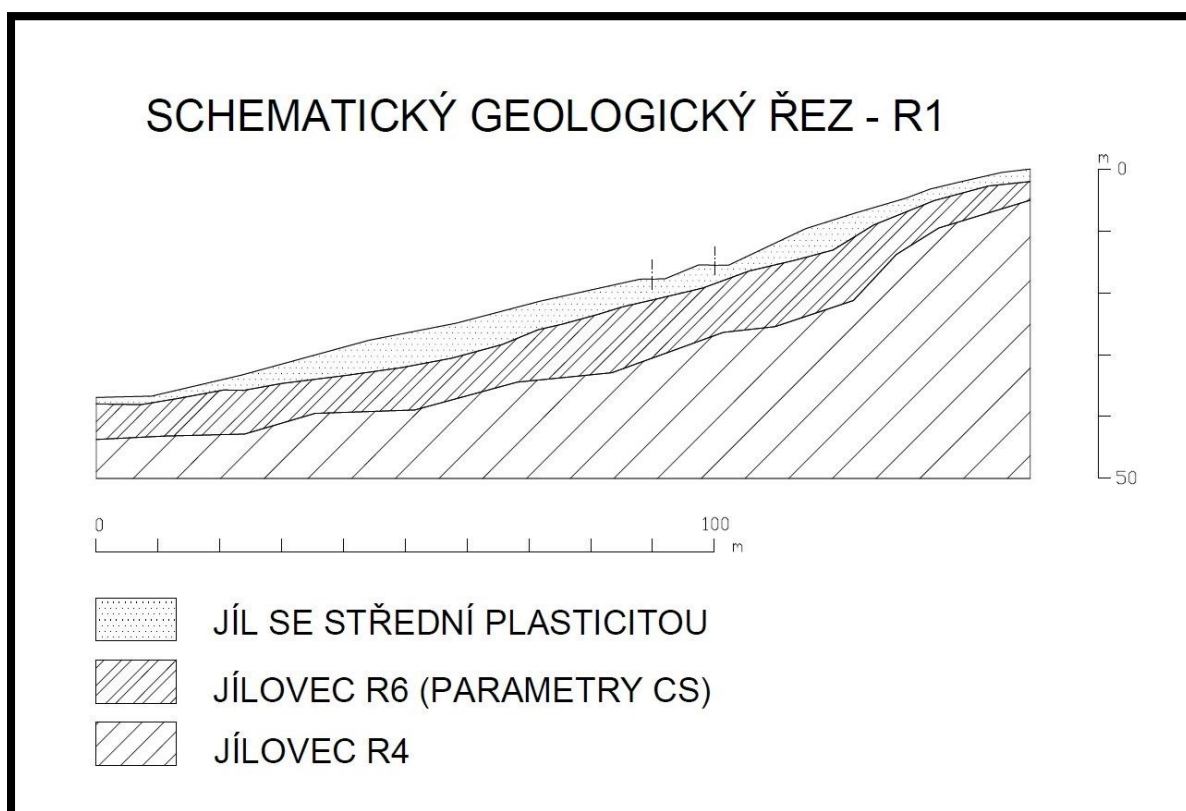
#### ***-paleogén-***

V tomto vrtu byl významnější přítok vody zaznamenán až od hloubky 60 m, tedy na litologickém rozhraní jílovce a pískovce. S rostoucí hloubkou se přítok podzemní vody zvyšoval a byl odhadován na přibližně 3 l/s. Pro přesnější zjištění hladiny podzemní vody (HPV) v zájmové oblasti byl využit i vrt číslo 692163 (obr. 27), ve kterém byla naměřena HPV v hloubce 27,88 m. [2] S touto hodnotou bylo také počítáno ve výpočetním modelu.

Pro účely této práce nebyly k dispozici základní vlastnosti zemín ve sledované lokalitě. Tyto jsou nezbytné pro posouzení stability svahového tělesa, byly proto použity tabulkové hodnoty. Za účelem získání parametrů zemín ze směrných normových charakteristik bylo provedeno zařazení zemín vrtu dle normy ČSN 73 6133 - Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.

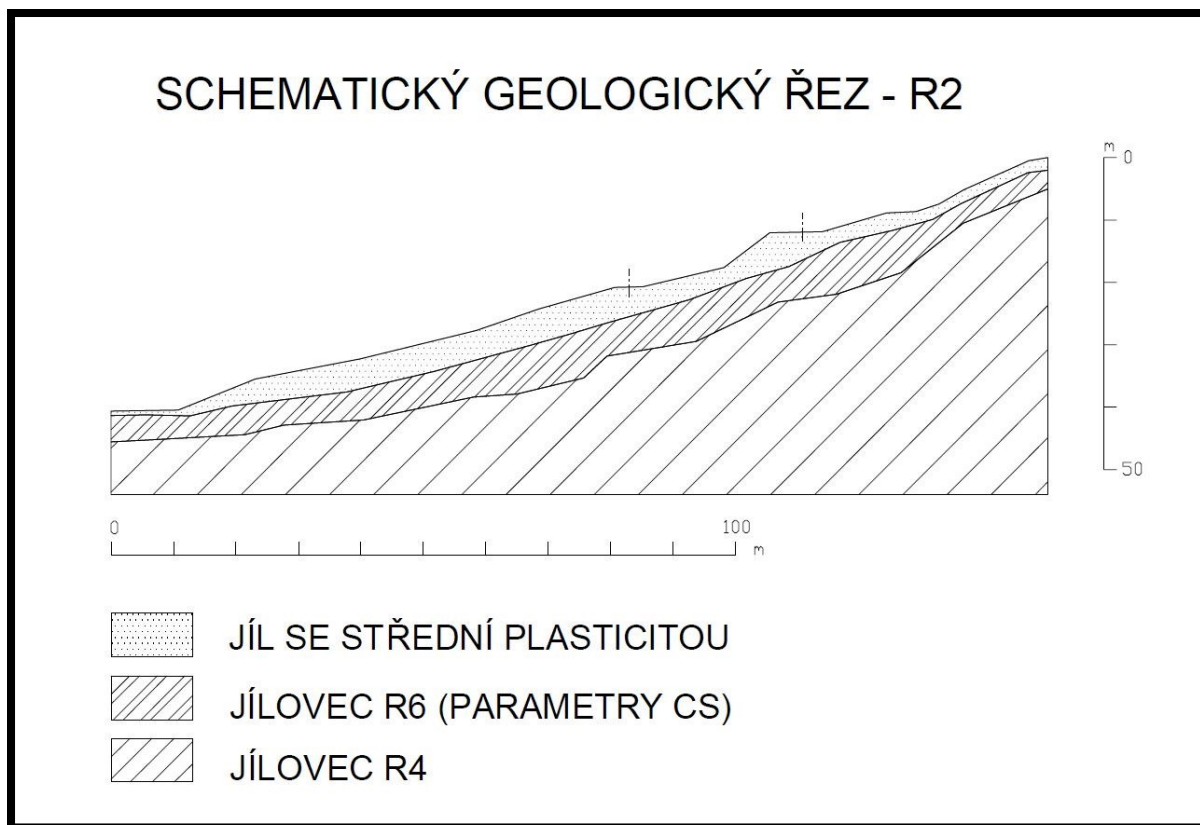


Obr. 27: Vrtná prozkoumanost zájmové oblasti [zdroj: 2, úprava autor]



Obr. 28: Schematický geologický řez - R1 [zdroj: autor]





Obr. 29: Schematický geologický řez - R2 [zdroj: autor]

Pravděpodobnou příčinou pohybu svahu je pohyb kvartérního pokryvu prosyceného vodou po vrstvách jílovců, a proto byly parametry zemin voleny pro dvě návrhové situace. 1. návrhová situace simuluje svah v období sucha – do výpočtu vstupují efektivní pevnostní parametry. 2. návrhová situace simuluje stav po srážkách. Ve výpočtu jsou proto pro první vrstvu použity totální parametry smykové pevnosti (tab. 1).

	Jíl se střední plasticitou - CI	Jílovec - R6 (parametry CS)	Jílovec - R4	Jednotky
$\gamma$	20	18,5	21	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	21	20,5	21	kN/m <sup>3</sup>
$c$	10	13	250	kPa
$c_U$	15	-	-	kPa
$\varphi$	20	25	24	°

Tab. 1: Parametry zemin [autor]

## 4.4 Výpočet stupně stability svahu

### 4.4.1 Stupeň stability svahu

Stupeň stability svahu -  $F$  je výsledkem metody mezní rovnováhy, jejímž základním principem je řešení silové nebo momentové rovnováhy nad zvolenou smykovou plochou. Nevýhodou této metody je nutnost předem zadat smykovou plochu, z níž je poté vypočítáván stupeň stability.

Stupeň stability, nebo také bezpečnosti, je udáván jako podíl pasivních a aktivních sil. Za pasivní síly označujeme síly, které vedou ke stabilitě svahu - pevnost hornin, tření na vytvářející se smykové ploše. Naopak aktivní síly (gravitace, hydrostatický tlak apod.) se snaží uvést svah do pohybu.

$$F = \frac{P}{A} > F_{\text{req}}$$

*kde:*

$P$  - pasivní síly

$A$  - aktivní síly

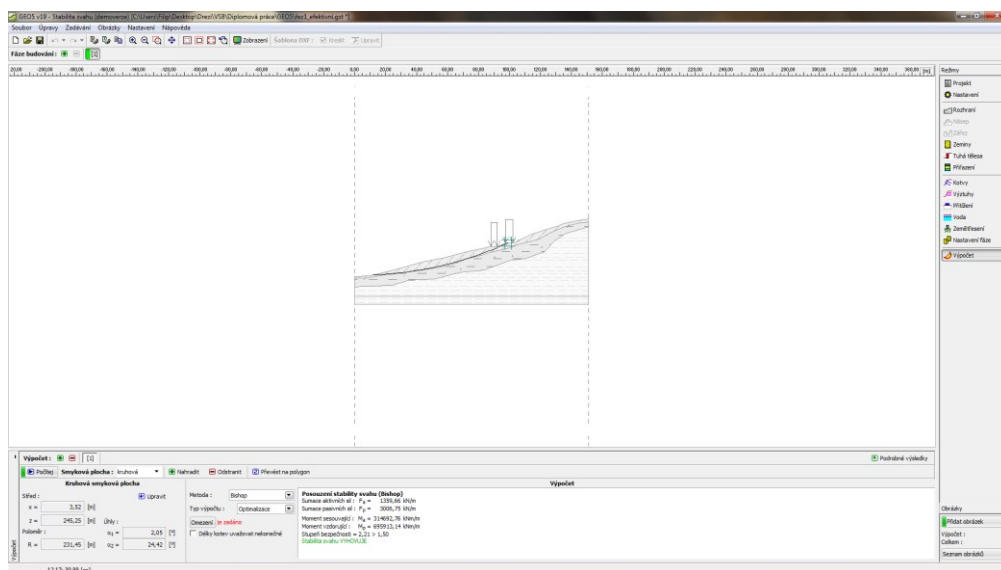
$F_{\text{req}}$  - požadovaný stupeň bezpečnosti

### 4.4.2 GEO5 - stabilita svahu

Výpočet stupně stability svahu byl proveden v geotechnickém softwaru GEO5 - stabilita svahu. Software GEO5 tvoří soubor programů, které slouží pro provedení geotechnických výpočtů. Skládá se z několika samostatných programů umožňujících řešení různých geotechnických úloh. Velkou výhodou tohoto softwaru, oproti jiným programům, je velmi jednoduché ovládání a uživatelské prostředí (obr. 30). [45]

Software GEO5 - stabilita svahu slouží k výpočtu stability svahů obecně vrstevnatého zemního tělesa. Výpočet stupně stability může být proveden pro kruhovou nebo polygonální smykovou plochu. V našem případě byl výpočet proveden pomocí kruhové smykové plochy, která je využívána pro výpočet stability svahu v soudržných zeminách. Pro tuto plochu lze výpočet provést několika metodami, a to podle Pettersona, Bishopa, Spencera, Morgenstern-Price nebo Janba. V našem případě je úloha řešena dle Bishopa.

Software GEO5 - stabilita svahu umožňuje řešit stabilitu svahu i s přítěžujícími konstrukcemi či s přitížením povrchu způsobeným například dopravou.



Obr. 30: Uživatelské prostředí softwaru GEO5 - stabilita svahu [zdroj: autor]

#### 4.4.3 Výpočetní model

Výpočet byl proveden podle norem ČSN 73 1001, 73 1002, 73 0037 a to pro oba profily, ve kterých byly namodelovány dva výše popsané návrhové stavy.

Na oba profily působí dvě zatížení, která simulují zatížení dopravou na ulici Bzové a na samotné příjezdové komunikaci k horskému hotelu Soláň. V obou případech se jedná o zatížení proměnné s hodnotou  $20 \text{ kN/m}^2$  (obr. 31, 32).

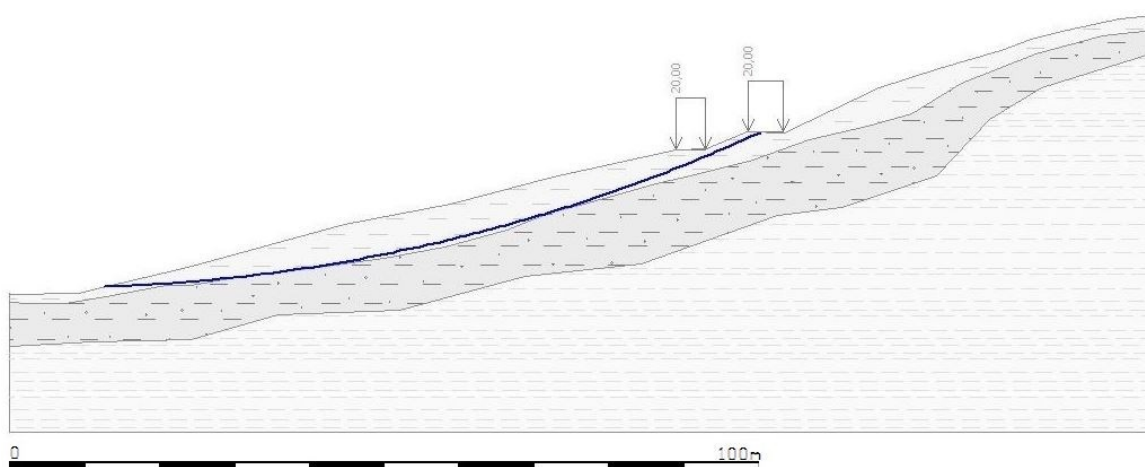
	Stupeň stability pro 1. návrhový stav (před srážkami)	Stupeň stability pro 2. návrhový stav (po srážkách)
<b>profil 1</b>	2,21	1,0
<b>profil 2</b>	2,01	0,9

Tab. 2: Přehled stupňů stability současného stavu [zdroj: autor]

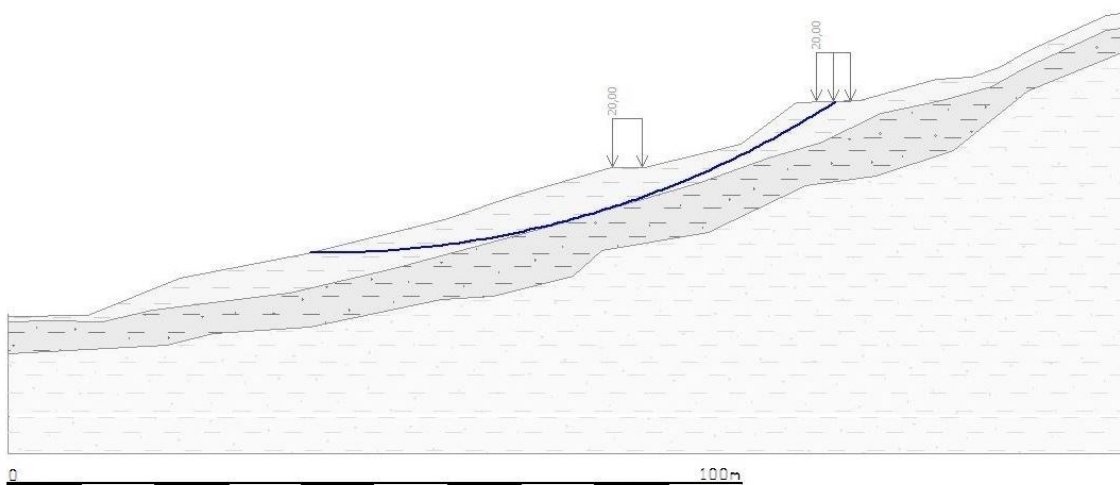
V tabulce č. 2 můžeme vidět dosažené stupně stability pro oba návrhové stavy. Z tabulky je patrné, že oba profily dosahují nepříznivých hodnot při druhém návrhovém stavu.

Profil 2 dosáhl stupně stability hodnoty 0,9. Což by znamenalo, že by došlo k sesunutí svahu. Reálná hodnota stupně stability bude tedy o něco vyšší. Tato nepřesnost ve výpočtu v softwaru GEO5 - stabilita svahu může být způsobena například nepřesnými zvolenými parametry zemin, které se mohou lišit od reálného stavu.

Na obrázcích č. 31 a 32 můžeme vidět průběh kritické smykové plochy. Smyková plocha se u obou profilů vytvoří na rozhraní vrstvy CI a jílovce - R6. Zbylé grafické výstupy, pro 1. návrhový stav jsou uvedeny v příloze č. 1.



Obr. 31: Profil 1 - Průběh kritické smykové plochy pro 2. návrhový stav [zdroj: autor]



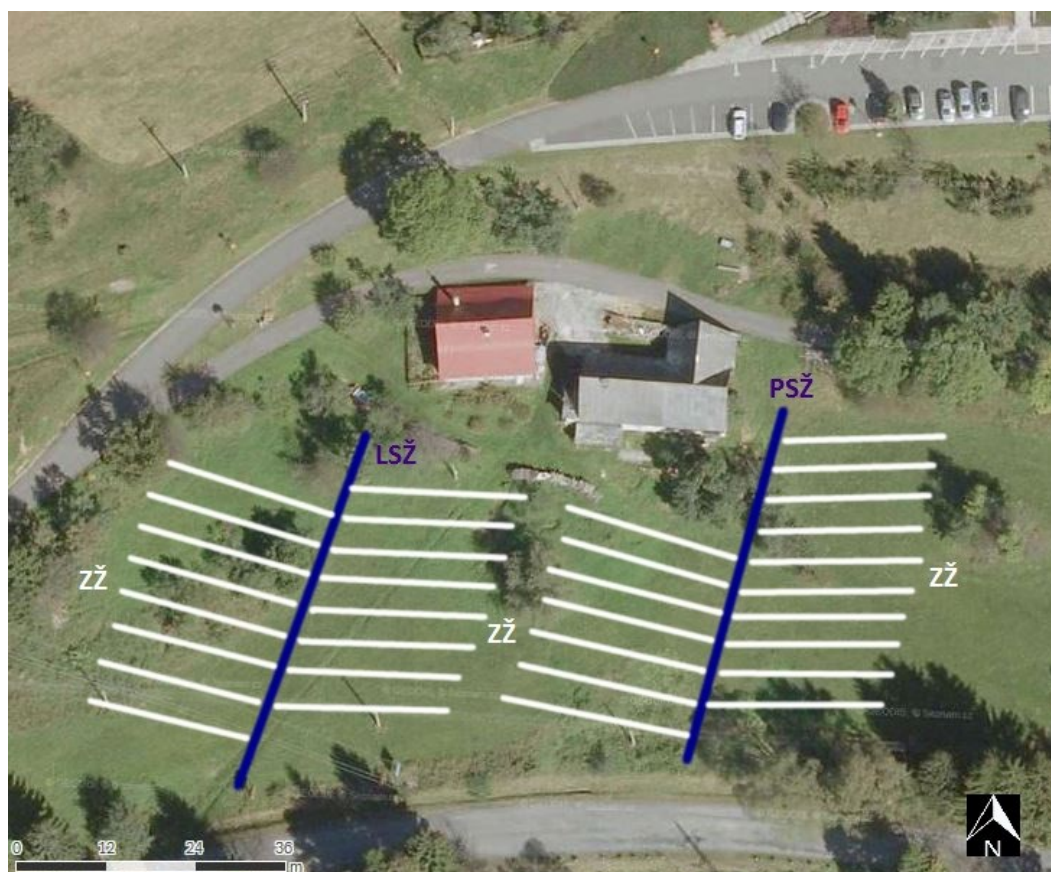
Obr. 32: Profil 2 - Průběh kritické smykové plochy pro 2. návrhový stav [zdroj: autor]



## 5 Návrh sanačního opatření

Jelikož byla ve výpočetním modelu zjištěna nepříznivá hodnota stupně stability pro 2. návrhový stav, simulující stav po srážkách, návrh sanačního opatření spočívá v provedení povrchového odvodnění zasaženého území. Pro tyto účely bude navržen systém drenážních žeber skládající se z žeber svodných a záchytných. V drenážním systému plní hlavní funkci žebra záchytná, která zachytávají a odvádějí vodu z okolního svahovitého území a jsou zaústěna do žeber svodných.

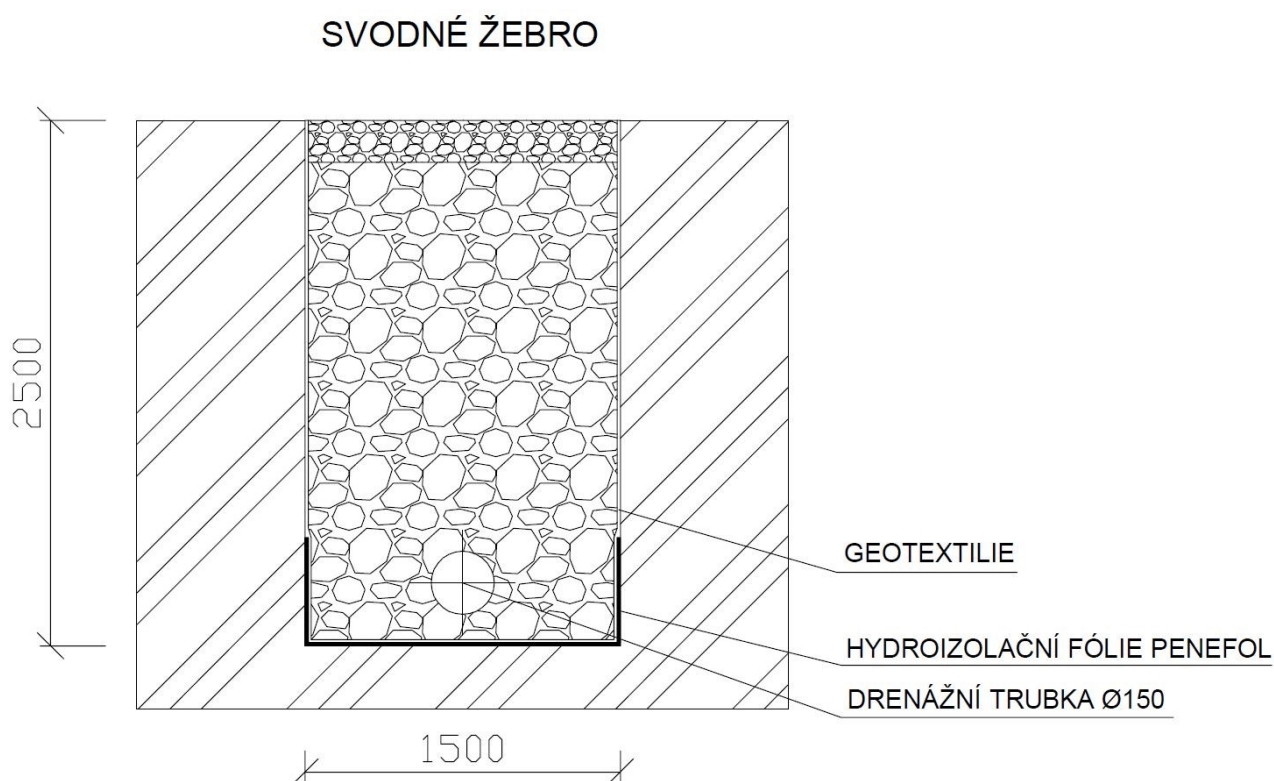
Vzhledem k rozsahu území jsou navržena dvě svodná žebra. Na obrázku č. 33 jsou označena modrou barvou a pojmenována jako LSŽ (levé svodné žebro) a PSŽ (pravé svodné žebro). Obě žebra jsou v celkové délce 45 m. Záchytné žebra (ZŽ), délky 25 m, jsou znázorněna bílou barvou a na svodná žebra jsou zaústěna pod úhlem 35 - 55°.



Obr. 33: Schéma povrchového odvodnění [zdroj: 41, úprava autor]

## Svodné žebro

Svodná žebra slouží k odvádění vody ze zasaženého území. Jsou do nich zaústěna žebra záchytná. LSŽ i PSŽ jsou navržena šířky 1 500 mm a hloubky 2 500 mm (obr. 34). Voda z obou svodných žeber bude odváděna do příkopu kolem silnice č. II/481, který bude pro tyto účely rozšířen a prohlouben. Jelikož je žebro realizováno až na bázi kvartérního pokryvu, plní i výztužnou funkci.

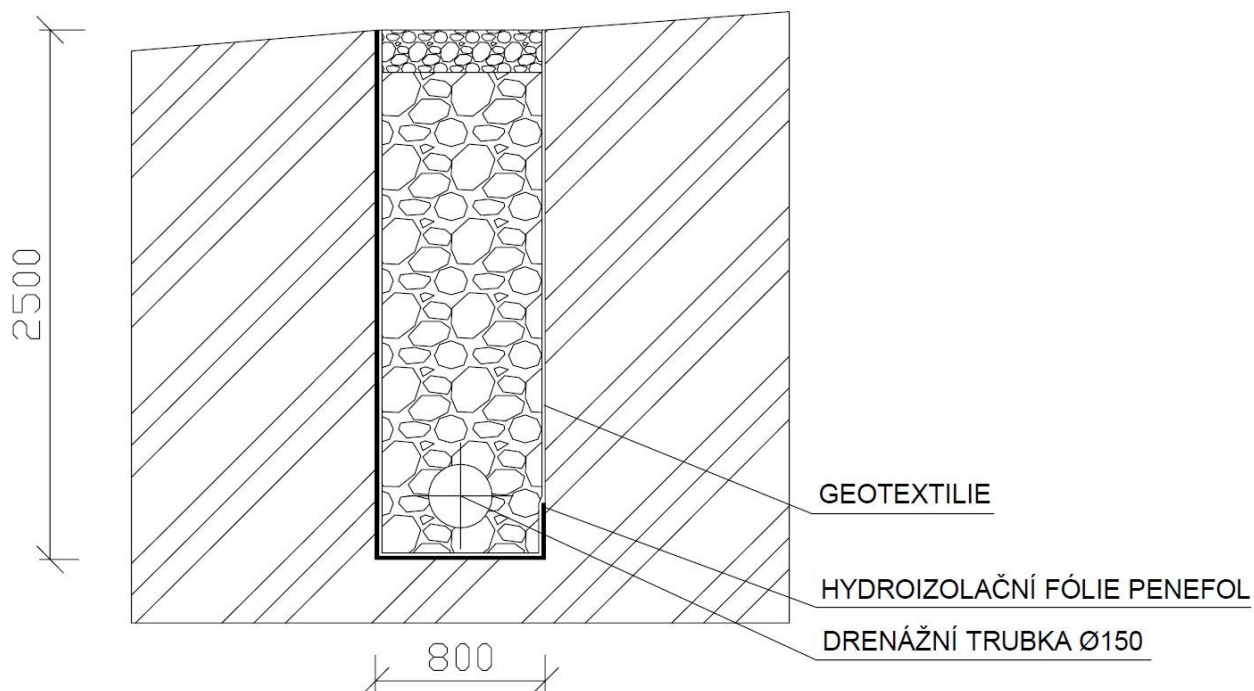


Obr. 34: Schéma svodného žebra [zdroj: autor]

## Záchytné žebro

Jak již bylo zmíněno, záchytná žebra plní v drenážním systému hlavní hydraulickou funkci. Navržené záchytné žebro je hluboké 2 500 mm a široké 800 mm. Schéma záchytného žebra je uvedeno na obrázku č. 35.

## ZÁCHYTNÉ ŽEBRO



Obr. 35: Schéma záchytného žebra [zdroj: autor]

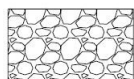
## LEGENDA MATERIÁLŮ



CI - JÍL SE STŘEDNÍ PLASTICITOU



DRCENÉ KAMENIVO FRAKCE 16/32 mm



DRCENÉ KAMENIVO FRAKCE 4/8 mm

Obr. 36: Legenda materiálů k obrázkům č. 34, 35 [zdroj: autor]

Výpočet osové vzdálenosti záchytných žebor byl proveden dle vztahu (1). Jedná se o empirický vztah pro dosah deprese u rýh při rovnoběžné filtraci horninovým prostředím. Odvození je teoreticky počítáno ze vztahů pro ustálené proudění - tíhové toky, systém s volnou hladinou. [18]

$$L = 2\,000 \times s \times \sqrt{k} \quad (1)$$

*kde:*

*L - dosah deprese pro rýhy u rovnoběžné filtrace horninovým prostředím [m]*

*s - snížení hladiny [m]*

*k - koeficient filtrace [m/s]*

Rozmezí koeficientu filtrace pro jíly se pohybuje v rozmezí  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  m/s (podle Myslivce). [45] Pro náš návrh byl zvolen parametr koeficientu filtrace  $k = 10^{-6}$  m/s. Snížení hladiny vody bylo uvažováno 0,5 m nad úroveň dna žebra, tedy  $s = 2$  m.

$$L = 2\,000 \times 2 \times \sqrt{10^{-6}} = 4 \text{ m}$$

Dosah deprese pro záchytná žebra je tedy roven 4 m. Díky tomuto výpočtu byla stanovena osová vzdálenost záchytných žebor odpovídající hodnotě 5 m.

Dále byl pro záchytná žebra proveden výpočet množství přítoku vody z jedné strany díla (obr. 37). Výpočet byl proveden dle vztahu (2), jenž vychází z Dupuitových rovnic. [18]

$$Q = \frac{k \times b \times (H^2 - h^2)}{2 \times L} \quad (2)$$

*kde:*

*Q - přítok vody z jedné strany díla [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]*

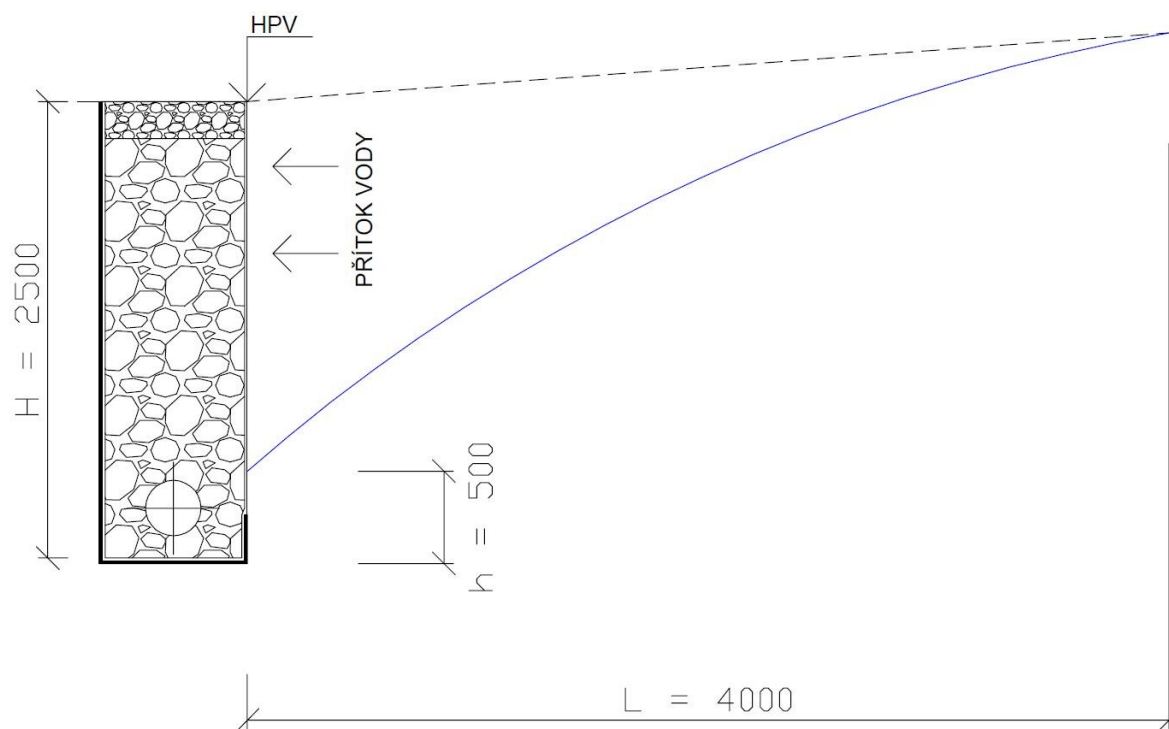
*k - koeficient filtrace [m/s]*

*b - délka záchytného žebra [m]*

*H - výška ustálené hladiny [m]*

*h - dynamická výška hladiny [m]*

*L - dosah deprese pro rýhy u rovnoběžné filtrace horninovým prostředím [m]*



Obr. 37: Přímkově rovnoběžné proudění - typ proudění do výkopu, pro přítok z jedné strany  
[zdroj: autor]

V našem případě byly voleny tyto parametry:

- koeficient filtrace  $k = 10^{-6}$  m/s
- délka záchytného žebra  $b = 25$  m
- výška ustálené hladiny  $H = 2,5$  m
- dynamická výška  $h = 0,5$  m
- dosah deprese  $L = 4$  m

$$Q = \frac{10^{-6} \times 25 \times (2,5^2 - 0,5^2)}{2 \times 4} = 1,875 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0,019 \text{ l/s}$$

Výsledná hodnota pro přítok vody z jedné strany díla je tedy 0,019 l/s, což odpovídá 1,14 l/min.

Protože na zájmovém území nebyla provedena vsakovací zkouška, jsou v tabulkách č. 3 až 6 uvedeny výsledky dosahu deprese a přítoků vody z jedné strany záchytného žebra při různých parametrech koeficientů filtrace jílu. Pro porovnání jsou tyto hodnoty stanoveny pro různé úrovně snížení hladiny vody v žebře.

s [m]	2,00		
k [m/s]	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
L [m]	4,00	1,27	0,40
Q [l/min]	1,14	0,36	0,11

Tab. 3: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 2,00 m [zdroj: autor]

s [m]	1,50		
k [m/s]	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
L [m]	3,00	0,94	0,30
Q [l/min]	1,32	0,42	0,13

Tab. 4: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 1,50 m [zdroj: autor]

s [m]	1,00		
k [m/s]	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
L [m]	2,00	0,63	0,20
Q [l/min]	1,50	0,48	0,15

Tab. 5: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 1,00 m [zdroj: autor]

s [m]	0,50		
k [m/s]	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
L [m]	1,00	0,31	0,10
Q [l/min]	1,68	0,54	0,18

Tab. 6: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 0,50 m [zdroj: autor]

## Materiál výplně žeber

Materiál výplně drenážních žeber tvoří přírodní nebo drcené kamenivo, recyklovaná štěrkodrt' či vysokopecní struska. Materiál nesmí být namrzavý a musí mít velmi dobrou propustnost. [44]

Žebra budou vyplněna drceným kamenivem frakce 16/32 z lokality Jakubčovice. Všechna drenážní žebra budou také překryta 20cm vrstvou z drceného kameniva frakce 4/8.

Při návrhu materiálu výplně je nutné brát ohled na filtrační stabilitu. Splnění této podmínky zaručuje dostatečnou propustnost drenážního žebra. Zároveň nesmí docházet k přemísťování nebo vyplavování části zeminy okolního prostředí do konstrukce žebra. Tuto stabilitu můžeme posoudit například dle Terzaghiho filtračního kritéria [43]:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} < 20$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$$

kde:

$D_{15,50}$  - průměr zrna materiálu výplně žebra při 15% a 50% propadu odečtený z křivky zrnitosti [mm]

$d_{15,50,85}$  - průměr zrna okolního materiálu při 15%, 50% a 85% propadu odečtený z křivky zrnitosti [mm]

V tomto případě je u obou typů žeber filtrační stabilita zajištěna obalením konstrukce žebra tkanou polypropylenovou separační geotextilií, která zajistí celé konstrukci i dlouhou životnost.

Pro zajištění nepronikání vody dále do svahu je ve svodném i záchytném žebrou umístěna jednovrstvá hydroizolační fólie Penefol (obr. 34, 35). Fólie je vyráběna z polyetylenu a dodává se v šířce 1 000 mm. Spoje jsou prováděny svařováním horkým vzduchem. Dále pro rychlé odvedení vody byla do každého žebra umístěna drenážní trubka průměru 150 mm vyrobená z tvrzeného polyvinylchloridu, která je charakteristická vysokou mechanickou i chemickou odolností a nízkou hmotností. [40]



Navržené sanační opatření, v podobě systému drenážních žeber, by mělo vést k uklidnění sesuvu.

Dále je navrženo i druhé, alternativní, sanační opatření. Vzhledem k předpokládané příčině svahového pohybu, tedy pohybu kvartérního pokryvu prosyceného vodou, je tímto sanačním opatřením zřízení hloubkového odvodnění - horizontálních odvodňovacích vrtů. Díky těmto vrtům dojde k odvodňování prostoru kolem smykové plochy a sníží se množství přitékající podzemní vody do míst ohrožených svahovým pohybem.

Horizontální odvodňovací vrty (HOV) jsou navrženy v délce 75 m. Budou provedeny ze dvou vrtných hnízd. Z každého hnízda budou vyvrtány dva horizontální vrty o průměru 200 mm (obr. 38). Všechny čtyři vrty budou ukloněny o  $12^\circ$ , vzájemné odchýlení vrtů bude činit  $18^\circ$ . Výtoky jednotlivých vrtných hnízd budou umístěny do zídky umístěné 600 mm nad povrch terénu, odtud bude voda pomocí drenážního potrubí odváděna do příkopu silnice č. II/481.



Obr. 38: Schéma hloubkového odvodnění [zdroj: 41, úprava autor]

## 6 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo posouzení stability svahu kolem příjezdové komunikace na horský hotel Soláň s následným návrhem vhodného sanačního opatření. Okolí zájmové oblasti je poměrně bohaté na sesuvy, proto bylo v kapitole 2.4 provedeno zmapování jak aktivních, tak uklidněných plošných sesuvů nacházejících se jihovýchodně od zájmové oblasti.

V rámci diplomové práce bylo nejprve provedeno rekognoskační sledování zájmové oblasti pro zmapování znaků sesuvů, jako byly trhliny v příjezdové komunikaci, tzv. opilé stromy či mokřady, s následným vymezením zasaženého území. Celková délka sesuvu se pohybuje okolo 125 m a šířka kolem 105 m, plocha zasaženého území tedy přesahuje 1,3 ha. Díky tomu byly vytipovány a následně totální stanicí zaměřeny dva příčné profily.

Pro účely sestavení geologie modelu byla využita data z archivu Geofondu. Byl využit průzkumný termovrt z roku 2011 nacházející se v blízkosti zasaženého území. Z důvodů získání parametrů ze směrných normových charakteristik zemin bylo provedeno zatřídění zemin vrtu dle normy ČSN 73 6133 - Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Pro jednotlivé profily byl v geotechnickém softwaru GEO5 - stabilita svahu proveden výpočet stupně stability dle Bishopa. Pravděpodobnou příčinou pohybu je pohyb kvartérního pokryvu prosyceného vodou, a z tohoto důvodu byly parametry zemin voleny pro dvě návrhové situace. 1. návrhová situace simulovala svah v období sucha – výpočet byl proveden s efektivními pevnostními parametry. 2. návrhová situace simulovala stav po srážkách. Ve výpočtu proto byly použity pro první vrstvu totální parametry smykové pevnosti. Výsledné hodnoty stupňů stability splnily počáteční předpoklad - nepříznivý stupeň stability svahu byl v obou profilech dosažen při druhém návrhovém stavu, konkrétně pro první profil hodnoty  $F = 1,0$  a pro druhý profil  $F = 0,9$ .

Jelikož předpokládanou příčinou svahového pohybu je nasycení horní vrstvy zeminy vodou, navrženým sanačním opatřením je provedení povrchového odvodnění pomocí systému drenážních žebor, skládajícího se ze žebor svodných a záchytných. Na základě tohoto opatření dojde k rychlému odvedení dešťových srážek ze zasaženého území. Osová vzdálenost záchytných žebor (5 m) byla stanovena pomocí výpočtu dosahu deprese u rýh při rovnoběžné filtraci horninovým prostředím. Dále byla vypočtena hodnota přítoku vody z jedné strany záchytného žebra (1,14 l/min). Odvodnění bylo počítáno teoreticky ze vztahů pro ustálené proudění - tíhové toky, systém s volnou hladinou.

Při návrhu konstrukce žebor byl kladen důraz na jejich funkčnost a životnost. Proto byla jednotlivá žebra obalena separační geotextilií pro zajištění filtrační stability a také byla navržena jednovrstvá hydroizolační fólie Penefol z důvodu zajištění nepronikání vody dále do svahu. Pro rychlejší odvedení vody byla do jednotlivých žebor umístěna drenážní trubka o průměru 150 mm vyrobená z tvrzeného polyvinylchloridu.

Současně bylo navrženo i alternativní sanační opatření spočívající ve zřízení hloubkového odvodnění v podobě horizontálních odvodňovacích vrtů. Toto sanační opatření povede k odvodňování prostoru kolem smykové plochy. Vrty byly navrženy v délce 75 m a budou provedeny ze dvou vrtných hnízd. Z každého hnízda budou vyvrtány dva horizontální vrty. Všechny čtyři vrty budou ukloněny o  $12^\circ$  a vzájemné odchýlení vrtů bude činit  $18^\circ$ .

## **Poděkování**

Závěrem bych chtěl poděkovat všem, kteří přispěli k vypracování této diplomové práce. V první řadě Ing. Barbaře Luňáčkové, Ph.D. za odborné vedení, rady a pomoc během terénních měření, dále Ing. Jaroslavu Ryšávkovi, Ph.D. za odborné a věcné konzultace při řešení problémů a Bc. Romanu Černému za pomoc při provádění terénních měření.



## Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] ABRAMSON, Lee W. *Slope Stability and Stabilization Methods 2nd Edition*. 2001. 736s. ISBN 978-0-471-38493-9.
- [2] Česká geologická služba. *Mapa vrtné prozkoumanosti – mapový server*. [online]. 2015. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=4>
- [3] Česká geologická služba. *Mapa svahových nestabilit - mapový server*. [online]. 2015. Dostupné z: [http://mapy.geology.cz/svahove\\_nestability/](http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/)
- [4] Český hydrometeorologický ústav. *Jižní Čechy – evidenční listy sesuvů*. [online]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/text/jcels.html>
- [5] Český svaz ochránců přírody. *Příroda Valašska*. [online]. [cit. 2015-08-16]. Dostupné z: <http://www.priroda-valasska.cz/cz>
- [6] ČSN 73 1001 *Základová půda pod plošnými základy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1987.
- [7] ČSN 73 6133 *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [8] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 56* [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=56&map=25-23-24>
- [9] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 58*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=58&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].
- [10] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 81b*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=81b&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].
- [11] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 43c*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=43c&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].
- [12] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 44*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=44&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].
- [13] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 60a*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=60a&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].

- [14] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *List 25-23-24, kód s.n. 31*. [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=31&map=25-23-24> [cit. 2015-08-4].
- [15] FAKTOROVÁ, Karolína. *Vliv geodynamických jevů na liniové inženýrské stavby*. [online]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/411594/prif\\_b/reserse\\_vlivgeodynamickych\\_pohybu\\_na\\_liniove\\_inzenyrske\\_stavby.txt](http://is.muni.cz/th/411594/prif_b/reserse_vlivgeodynamickych_pohybu_na_liniove_inzenyrske_stavby.txt)
- [16] Gabionbond. *Gabiony a gabionové ploty*. [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.gabionbond.cz/>
- [17] Gabionystone - gabionové konstrukce. *Technologický postup staveb gabionových konstrukcí*. [online]. 2012. [cit. 2015-10-29]. Dostupné z: <http://gabionystone.cz/wp-content/uploads/2013/01/Technologick%C3%BD-postup-final.pdf>
- [18] GRMELA, Arnošt. *Základy hydrogeologie*. [online]. 2012. [cit. 2015-11-2]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/10\\_z%C3%A1klady\\_hydro/10\\_z%C3%A1klady\\_hydrgeologie.htm](http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/10_z%C3%A1klady_hydro/10_z%C3%A1klady_hydrgeologie.htm)
- [19] GRYGAR, Radomír a Jan JELÍNEK. *Geomorfologie pro technické obory*. [online]. [cit. 2015-06-20]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/>
- [20] HOLÝ, Miloš. *Odvodňovací stavby*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 468 s.
- [21] HOLÝ, Ondřej. *Zemní lavice a stabilizační přísypy, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-08-22]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?42>
- [22] HRUBAN, Robert. *Moravské Karpaty*. [online]. 2015. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/>
- [23] HULLA, Jozef. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2002, 254 s. [cit. 2015-10-24]. ISBN 80-88905-42-7.
- [24] Krásy přírody. *Geomorfologické celky ČR a jejich přírodní zajímavosti*. [online]. 2013. [cit. 2015-06-20]. Dostupné z: <http://fotokrasyprirody.blog.cz/1212>
- [25] KULHAVÝ, Zbyněk a Milan ČMELÍK, TLAPÁKOVÁ Lenka. *Zalesňování v minulosti odvodněných zemědělských pozemků*. Pardubice. 2014. [cit. 2015-11-2]. ISBN 978-80-87361-38-2.
- [26] KYCL, Petr. *Drenážní žebra, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-08-19]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?48>
- [27] KYCL, Petr. *Horizontální odvodňovací vrty, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-08-22]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?49>
- [28] KYCL, Petr. *Podzemní stěny, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-1]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?59>

- [29] KYCL, Petr. *Hydroosev, rostlinný porost*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-1]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?66>
- [30] KYCL, Petr. *Elektroosmóza, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-2]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?71>
- [31] KYCL, Petr. *Hydrogeologický průzkum, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-9]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?8>
- [32] KYCL, Petr. *Mapování oblasti, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?2>
- [33] KYCL, Petr. *Jádrové vrty, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?3>
- [34] KYCL, Petr. *Plnoprofilové vrty, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?4>
- [35] KYCL, Petr. *Statická penetrace, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?6>
- [36] KYCL, Petr. *Dynamická penetrace, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?7>
- [37] KYCL, Petr. *Ochrana lomovým kamenivem, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?64>
- [38] KYCL, Petr. *Protierozní sítě, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?65>
- [39] KYCL, Petr. *Gabionové rohože, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?63>
- [40] Lithoplast. *TECHNICKÝ LIST PN 01 – 100 – 15* [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: [http://lithoplast.cz/\\_files/lithoplastc1389541443db1d52aa765763d905ac2/penefol500tl.pdf](http://lithoplast.cz/_files/lithoplastc1389541443db1d52aa765763d905ac2/penefol500tl.pdf)
- [41] Mapová aplikace - <https://mapy.cz>
- [42] MARSCHALKO, Marian a Jarmila MÜLLEROVÁ, IDEŠ David. *Svahové deformace, výukové multimediální texty*. [online]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svade/defaul.htm>
- [43] MRVÍK, Ondřej. *Čerpací studně, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-08-22]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?50>
- [44] NAVRÁTIL, Petr. *Studie konstrukce trativodu*. [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/30358/16455.pdf?sequence=1>
- [45] Online nápověda GEO5 - koeficient filtrace. [online]. 2015. [cit. 2015-11-9]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/koeficient-filtrace-01/>

- [46] RUBIŠÁROVÁ, Helena. *Kopané sondy, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?5>
- [47] SCHRÖFEL, Jan. *Drenážní štoly, katalogové listy*. [online]. [cit. 2015-08-22]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?51>
- [48] ŠTÁBL, Stanislav. *Hřebíkování a zemní kotvy, katalogové listy*. [online]. 2015. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?53>
- [49] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Academia, 1987, 338 s. [cit. 2015-06-19]



## Seznam obrázků

- Obr. 1: Lokalita zájmového území [zdroj: 2, úprava autor]
- Obr. 2: Tzv. opilý les, vzniklý v důsledku gravitačních svahových pohybů - soliflukce [zdroj: 19]
- Obr. 3: Ukázka skalního říčení - Julské Alpy, Slovinsko [zdroj: 19]
- Obr. 4: Povrchová odvodnění na území postiženého sesuvem - Prachatice [zdroj: 4]
- Obr. 5: Drenážní žebra - dálnice D8 u Dubkoviček [zdroj: 26]
- Obr. 6: Hnízdo horizontálních odvodňovacích vrtů - dálnice D1, Slovensko [zdroj: 27]
- Obr. 7: Sanace zářezu železniční tratě opěrnou zdí - Prachatice [zdroj: 4]
- Obr. 8: Gabionová stěna - Dolní Poustevna [zdroj: 16]
- Obr. 9: Mapa plošných sesuvů v okolí zájmové oblasti [zdroj: 2, úprava autor]
- Obr. 10: Legenda k obrázku č. 9 [zdroj: 3]
- Obr. 11: Mapa plošných sesuvů jihovýchodně od zájmové oblasti [zdroj: 3, úprava autor]
- Obr. 12: Sanace sesuvu 43c gabionovou zdí [zdroj: 11]
- Obr. 13: Regionální geomorfologické členění ČR [zdroj: 24]
- Obr. 14: Oblast Vsetínských vrchů [zdroj: 22, úprava autor]
- Obr. 15: Terénní mapa sesuvu u Dobkoviček na Litoměřicku [zdroj: 32]
- Obr. 16.: Dynamická penetrace [zdroj: 36]
- Obr. 17: Vrtné práce při hydrogeologickém průzkumu [zdroj: 31]
- Obr. 18: Povodí Moravy [zdroj: 2, úprava autor]
- Obr. 19: Zasažené území kolem příjezdové komunikace na horský hotel Soláň [zdroj: 41, úprava autor]
- Obr. 20: Trhliny v příjezdové komunikaci na horský hotel Soláň [zdroj: autor]
- Obr. 21: Odtržení komunikace na ulici Bzové procházející zasaženým územím [zdroj: autor]
- Obr. 22: Tzv. opilý strom [zdroj: autor]
- Obr. 23: Mokřady [zdroj: autor]

- Obr. 24: Praskliny na hospodářském objektu paní Závorkové [zdroj: autor]
- Obr. 25: Zaměření zájmové lokality totální stanicí Leica TPS1200 [zdroj: autor]
- Obr. 26: Rozmístění charakteristických řezů [zdroj: 41, úprava autor]
- Obr. 27: Vrtná prozkoumanost zájmové oblasti [zdroj: 2, úprava autor]
- Obr. 28: Schematický geologický řez - R1 [zdroj: autor]
- Obr. 29: Schematický geologický řez - R2 [zdroj: autor]
- Obr. 30: Uživatelské prostředí softwaru GEO5 - stabilita svahu [zdroj: autor]
- Obr. 31: Profil 1 - Průběh kritické smykové plochy pro 2. návrhový stav [zdroj: autor]
- Obr. 32: Profil 2 - Průběh kritické smykové plochy pro 2. návrhový stav [zdroj: autor]
- Obr. 33: Schéma povrchového odvodnění [zdroj: 41, úprava autor]
- Obr. 34: Schéma svodného žebra [zdroj: autor]
- Obr. 35: Schéma záchytného žebra [zdroj: autor]
- Obr. 36: Legenda materiálů k obrázkům č. 34, 35 [zdroj: autor]
- Obr. 37: Přímkově rovnoběžné proudění - typ proudění do výkopu, pro přítok z jedné strany [zdroj: autor]
- Obr. 38: Schéma hloubkového odvodnění [zdroj: 41, úprava autor]

## Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry zemin [zdroj: autor]

Tab. 2: Přehled stupňů stability současného stavu [zdroj: autor]

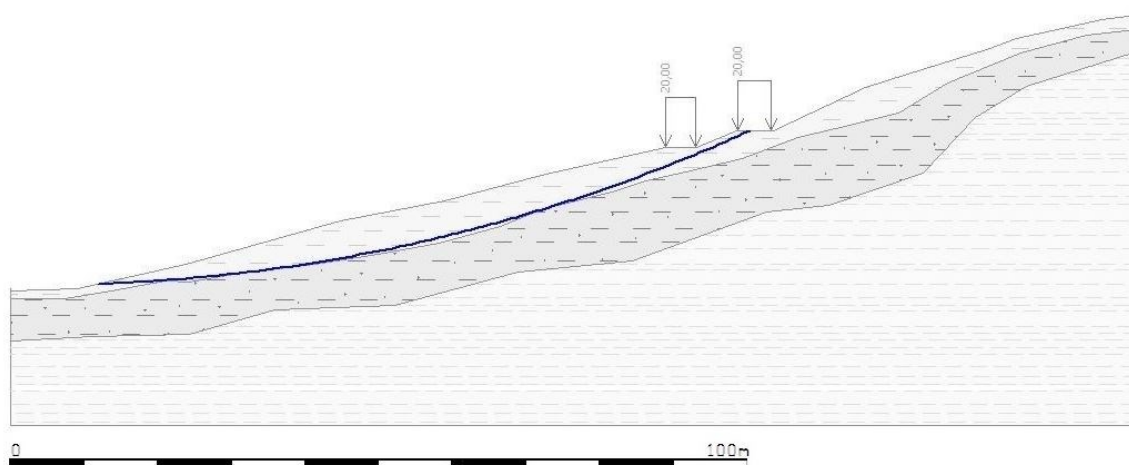
Tab. 3: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 2,00 m [zdroj: autor]

Tab. 4: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 1,50 m [zdroj: autor]

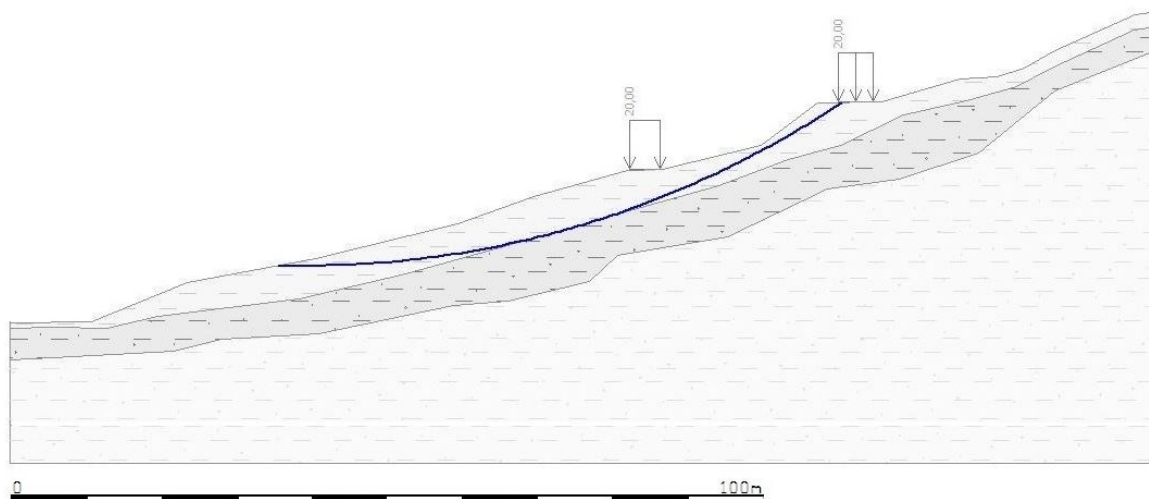
Tab. 5: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 1,00 m [zdroj: autor]

Tab. 6: Porovnání výsledků dosahu deprese a množství přítoku vody z jedné strany díla pro různé parametry koeficientu filtrace jílu při snížení hladiny vody o 0,50 m [zdroj: autor]

## Příloha č. 1



*Průběh kritické smykové plochy profilu 1 pro 1. návrhový stav*



*Průběh kritické smykové plochy profilu 2 pro 1. návrhový stav*